

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 201790488 (13) A1

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2017.07.31(22) Дата подачи заявки  
2014.09.30(51) Int. Cl. C23C 26/00 (2006.01)  
B21B 1/02 (2006.01)  
B21B 3/00 (2006.01)  
B22D 21/06 (2006.01)  
B22D 29/00 (2006.01)  
C22C 14/00 (2006.01)

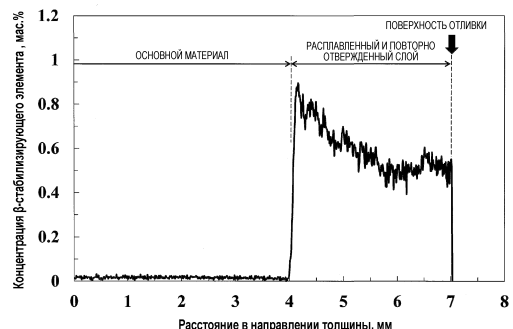
## (54) ОТЛИВКА ИЗ ТИТАНА ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ И СПОСОБ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВА

(86) PCT/JP2014/076076

(87) WO 2016/051499 2016.04.07

(71) Заявитель:  
НИППОН СТИЛ ЭНД СУМИТОМО  
МЕТАЛ КОРПОРЕЙШН (JP)(72) Изобретатель:  
Тацудзава Йосицугу, Куниеда  
Томонори, Мори Кенити, Фудзии  
Хидеки, Такахаси Кадзухиро (JP)(74) Представитель:  
Медведев В.Н. (RU)

(57) Предлагается отливка из титана, выполненная из коммерчески чистого титана, производимая с помощью электронно-лучевой переплавки или плазменной дуговой плавки, содержащая расплавленный и повторно отвержденный слой в диапазоне 1 мм или более в глубину у поверхности, служащей прокатываемой поверхностью, причем этот расплавленный и повторно отвержденный слой получают путем добавления одного или более  $\beta$ -стабилизирующих элементов на эту поверхность и плавления и повторного отверждения этой поверхности. Среднее значение концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента (элементов) в диапазоне внутри 1 мм в глубину является более высоким, чем значение концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента (элементов) в основном материале, на величину 0,08 мас.% или больше и 1,50 мас.% или меньше. В качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, используется порошок, стружка, проволока или фольга. В качестве средства для плавления поверхностного слоя используются электронно-лучевой нагрев и плазменно-дуговой нагрев.



A1

201790488

201790488

A1

**ОТЛИВКА ИЗ ТИТАНА ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ И СПОСОБ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВА**

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

[0001]

Настоящее изобретение относится к способу производства отливки из титана для горячей прокатки, выполненной из коммерчески чистого титана, в частности к отливке из титана, которая может сохранять превосходные характеристики поверхности после горячей прокатки, даже когда процесс деформации (обжатия), такой как прокатка сляба, ковка и подобное, опускается, а также к способу ее производства.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0002]

В большинстве случаев для коммерчески чистого титана используют в качестве сырья титановую губку или титановый лом. Он плавится с помощью электродуговой переплавки с нерасходуемым электродом, электроннолучевой переплавкой, плазменной электродуговой переплавки и т.п. в титановый слиток (отливку из титана). Электродуговая переплавка с нерасходуемым электродом использует спрессованную в брикет титановую губку в качестве электрода, и с помощью дугового разряда между электродом и литейной формой плавит сам электрод и отлиывает его в литейную форму, получая тем самым слиток металла. Следовательно, необходим однородный разряд между электродом и литейной формой, что ограничивает геометрию литейной формы цилиндрической формой; и соответственно форма слитка металла после литья является цилиндрической. С другой стороны, электроннолучевая переплавка и плазменная электродуговая переплавка, которые используют электронные лучи и плазменную дугу, соответственно, отличаются по способу плавки, но оба эти способа содержат литье расплавленного титана на днище в литейную форму, и это позволяет свободно выбирать конструкцию литейной формы; таким образом возможно произвести слитки металла с различными формами, такими как прямоугольная форма и форма билета, а также цилиндрическая форма.

[0003]

В современном процессе производства титанового материала после этого выполняется процесс горячей обработки, такой как прокатка сляба или ковка, которую называют процессом деформации слитка металла, а затем выполняется горячая прокатка; процесс деформации является необходимым. Однако, согласно формам, считается, что процесс деформации может быть пропущен в производстве листового материала из прямоугольного слитка металла (сляба) и в производстве прутка или катанки из цилиндрического слитка металла и биллета, и проводилось изучение технологии выполнения горячей прокатки без процесса деформации. Если эта технология будет реализована, то можно будет ожидать снижения затрат за счет упрощения процесса и увеличения выхода.

[0004]

Однако отливка из титана, произведенная с помощью электроннолучевой переплавки или плазменной электродуговой переплавки, находится в состоянии после литья, и поэтому содержит крупные зерна с размерами в несколько десятков миллиметров. Что касается такой отливки из титана, когда горячая прокатка выполняется без процесса деформации, из-за крупных зерен влияние деформационной анизотропии в зерне и между кристаллическими зернами вызывает шероховатость поверхности, приводя к поверхностным дефектам. Для того, чтобы удалить поверхностные дефекты, которые образуются при горячей прокатке, необходимо увеличить количество травления поверхности горячекатаного материала в травильном процессе, который является следующим процессом, и соответственно выход ухудшается и может приводить к увеличению затрат.

[0005]

Соответственно, для слитка титана, производимого с помощью электроннолучевой переплавки или плазменной электродуговой переплавки, в то время как ожидается, что затраты будут снижены за счет исключения процесса деформации в виде прокатки сляба,ковки и т.п., существует вероятность того, что увеличение поверхностных дефектов может вызвать увеличение затрат. Это обстоятельство тормозило практическое использование отливки из титана, полученной без процесса деформации.

[0006]

Патентный документ 1 раскрывает способ, который обеспечивает превосходную поверхность отливки и может улучшить поверхностные дефекты после горячей прокатки, даже когда процесс деформации слитка металла опускается в следующем случае: в микроструктуре поперечного сечения титанового сляба, произведенного в печи для электроннолучевой переплавки и извлеченного прямо из литейной формы, угол  $\theta$ , образуемый направлением отверждения от поверхностного слоя к внутренности и направлением литья сляба, находится в диапазоне от 45 до 90°, или в распределении кристаллической ориентации поверхностного слоя угол, образуемый с-осью гексагональной структуры с плотной упаковкой и нормалью к поверхностному слою сляба, находится в диапазоне от 35 до 90°. Таким образом, управление формой и кристаллической ориентацией кристаллических зерен поверхности подавляет образование дефектов вследствие грубых кристаллических зерен.

[0007]

В Патентном документе 2 в качестве способа для прямого выполнения горячей прокатки без процесса деформации слитка титанового материала, поверхностный слой прокатываемой поверхности подвергается плавлению и повторному отверждению с помощью высокочастотного индукционного нагрева, электродугового нагрева, плазменного нагрева, электроннолучевого нагрева, лазерного нагрева и т.п.; таким образом часть металла от поверхностного слоя до глубины 1 мм или больше подвергается измельчению зерна. Этот поверхностный слой сляба закаляется и отверждается так, чтобы иметь мелкое и нерегулярное распределение осей кристаллической ориентации, которое предотвращает образование поверхностных дефектов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

#### ПАТЕНТНАЯ ЛИТЕРАТУРА

[0008]

Патентный документ 1: WO 2010/090353

Патентный документ 2: JP 2007-332420A

## СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

## ТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

[0009]

Настоящее изобретение предлагает отливку из титана и способ для ее производства, где отливка из титана получается без какой-либо потребности в процессе резания и кондиционирования для поверхностного слоя свежеполученной титановой отливки или без какого-либо процесса деформации, и образование поверхностных дефектов подавляется в титановом материале после последующей горячей прокатки.

## РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

[0010]

Авторы настоящего изобретения провели обширные исследования для того, чтобы достичь цели. В результате было обнаружено следующее. Когда отливка из титана, произведенная с помощью электроннолучевой переплавки или плазменной электродуговой переплавки в качестве способа для плавки отливки из титана, сделанной из чистого титана, подвергается горячей прокатке без процесса деформации, который был традиционно необходим, некоторый материал (порошок, стружка, проволока или фольга), содержащий  $\beta$ -стабилизирующий элемент, помещается или наносится на поверхностный слой прокатываемой поверхности отливки из титана в состоянии сразу после отливки, и поверхностный слой титанового материала плавится с этим материалом в качестве предварительного процесса горячей прокатки. Таким образом, слой, имеющий более высокую концентрацию  $\beta$ -стабилизирующего элемента, чем основной материал, то есть богатый  $\beta$ -стабилизирующим элементом слой, формируется в поверхностном слое титанового материала. Это позволяет сохранять превосходные свойства поверхности после горячей прокатки.

[0011]

Таким образом, настоящее изобретение описано ниже.

(1)

Отливка из титана для горячей прокатки, выполненная из коммерчески чистого титана, содержащая:

расплавленный и повторно отвержденный слой в диапазоне 1 мм или более вглубь от поверхности, служащей в качестве прокатываемой поверхности, получаемый путем добавления одного или более  $\beta$ -стабилизирующих элементов к этой поверхности и плавления и повторного отверждения этой поверхности,

в которой среднее значение концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в диапазоне внутри 1 мм в глубину является более высоким, чем значение концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в основном материале, на величину 0,08 мас.% или больше и 1,50 мас.% или меньше.

(2)

Отливка из титана для горячей прокатки в соответствии с пунктом (1),

в которой  $\beta$ -стабилизирующий элемент (элементы) представляет собой один или более из Fe, Ni и Cr.

(3)

Отливка из титана для горячей прокатки в соответствии с пунктом (1), содержащая один или более  $\alpha$ -стабилизирующих элементов или нейтральных элементов вместе с  $\beta$ -стабилизирующим элементом (элементами).

(4)

Способ для производства отливки из титана для горячей прокатки, включающий в себя:

плавление поверхности, служащей в качестве прокатываемой поверхности отливки из титана, вместе с материалом, содержащим  $\beta$ -стабилизирующий элемент, а затем отверждение этой поверхности, причем отливка из титана делается из коммерчески чистого титана.

(5)

Способ в соответствии с пунктом (4),

в котором материал, содержащий  $\beta$ -стабилизирующий элемент, имеет любую форму из порошка, стружки, проволоки и фольги.

(6)

Способ в соответствии с пунктом (4),

в котором поверхность, служащая в качестве прокатываемой поверхности отливки из титана, плавится с помощью

электроннолучевого нагрева или плазменного нагрева, причем отливка из титана делается из коммерчески чистого титана.

#### ПОЛЕЗНЫЕ ЭФФЕКТЫ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0012]

С использованием отливки из титана в соответствии с настоящим изобретением, даже когда горячая прокатка выполняется без процесса деформации, такого как прокатка сляба, ковка и т.п., который был традиционно необходимым, может быть произведен титановый материал, имеющий поверхностные свойства, эквивалентные поверхностным свойствам обычного материала. Уменьшение продолжительности нагрева благодаря исключению процесса деформации, уменьшение обработки резанием, достигаемое за счет сглаживания поверхностного слоя отливки из титана благодаря плавлению поверхностного слоя, уменьшение количества травления благодаря повышению поверхностных свойств титанового материала после горячей прокатки и т.п. приводят к повышению выхода, оказывая эффект сокращения производственных затрат; таким образом настоящее изобретение предполагает большой эффект в промышленности.

#### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0013]

[Фиг. 1] Фиг. 1 схематично показывает изменение концентрации в расплавленном и повторно отвержденном слое.

#### ОПИСАНИЕ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

[0014]

Далее настоящее изобретение будет описано подробно.

[0015]

В настоящем изобретении коммерчески чистый титан включает в себя коммерчески чистый титан, соответствующий классам 1-4 японского промышленного стандарта JIS, а также соответствующим им классам 1-4 стандарта ASTM, а также 3.7025 стандарта DIN. Таким образом, интересующий коммерчески чистый титан в настоящем изобретении является титаном, состоящим из C: 0,1 мас.% или меньше, H: 0,015 мас.% или меньше, O: 0,4 мас.% или меньше, N: 0,07 мас.% или меньше, Fe: 0,5 мас.% или меньше, с остатком из Ti. Следует отметить, что Fe, содержащийся в большом количестве

по сравнению с другими  $\beta$ -стабилизирующими элементами в коммерчески чистом титане, по существу содержится в количестве от приблизительно 0,020 мас.% до 0,05 мас.% в титане классов 1 и 2 JIS, и приблизительно 0,08 мас.% в титане класса 3 JIS.

[0016]

Интересующие отливки из титана в настоящем изобретении включают в себя прямоугольные слитки металла (слябы), цилиндрические слитки металла и биллеты. Поверхностный слой отливки из титана с такой формой плавится вместе с материалом, содержащим  $\beta$ -стабилизирующий элемент, так что поверхностные дефекты подавляются для титанового материала после горячей прокатки.

[0017]

В настоящем изобретении только часть поверхностного слоя отливки из титана в состоянии сразу после литья нагревается для плавления на 1 мм или более в глубину. Часть поверхностного слоя отливки из титана, расплавленная таким образом, резко охлаждается и повторно отверждается после плавления, и микроструктура поперечного сечения расплавленного и повторно отвержденного слоя, охлажденного до комнатной температуре (отвержденный слой, который получается путем плавления только части поверхностного слоя отливки из титана в состоянии сразу после литья путем нагревания, а затем выполнения охлаждения и повторного отверждения таким образом, называют «расплавленным и повторно отвержденным слоем»), представляет собой мелкую иглообразную микроструктуру. Кроме того, при плавлении поверхностного слоя, поверхностный слой основного материала плавится одновременно с  $\beta$ -стабилизирующим элементом; таким образом, концентрация  $\beta$ -стабилизирующего элемента в расплавленном и повторно отвержденном слое становится более высокой, чем в основном материале, и, следовательно, улучшение прокаливаемости благодаря добавлению  $\beta$ -стабилизирующего элемента заставляет расплавленный и повторно отвержденный слой иметь еще более тонкую микроструктуру. «Улучшение прокаливаемости» здесь относится к низкотемпературному превращению, достигаемому путем



сдвига переднего края превращения при непрерывном охлаждении в более долгосрочную сторону за счет содержания  $\beta$ -стабилизирующего элемента в поверхностном слое отливки из титана. Цель низкотемпературного превращения заключается в увеличении мест зародышеобразования для того, чтобы сделать кристаллические зерна более мелкими.

[0018]

Как будет описано позже, в настоящем изобретении сформированный расплавленный и повторно отвержденный слой включает в себя глубокую часть и мелкую часть. В настоящем изобретении заданная глубина расплавленного и повторно отвержденного слоя составляет 1 мм или больше; эта глубина относится к глубине самой мелкой части, если смотреть на поперечное сечение в направлении, перпендикулярном к направлению сканирования расплавленного валика.

[0019]

Обычно коммерчески чистый титан подвергается горячей прокатке в однофазной  $\alpha$ -области, которая находится ниже температуры точки  $\beta$ -превращения. Следовательно, отливка из титана нагревается до высокотемпературной области  $\alpha$ -фазы, которая является температурой нагрева для горячей прокатки. В большинстве случаев коммерчески чистый титан содержит в качестве элемента сплава  $\beta$ -стабилизирующий элемент, такой как Fe, в ничтожно малом количестве, и таким образом существует небольшая температурная область  $\alpha+\beta$ . В нормальном коммерчески чистом титане, однако, температурная область  $\alpha+\beta$  является очень узкой температурной областью всего в нескольких десятках градусов. В отличие от этого, в отливке из титана, получаемой путем добавления  $\beta$ -стабилизирующего элемента к поверхностному слою вышеописанной отливки из титана и плавления  $\beta$ -стабилизирующего элемента одновременно с поверхностным слоем титанового материала и выполнения повторного отверждения, концентрация  $\beta$ -стабилизирующего элемента в поверхностном слое является более высокой, чем в основном материале. Стабильность  $\beta$ -фазы поэтому

является высокой в расплавленном и повторно отвержденном слое, что расширяет температурную область  $\alpha+\beta$ ; таким образом, внутренняя часть расплавленного и повторно отвержденного слоя может быть приведена в состояние области  $\alpha+\beta$  при нагревании для горячей прокатки. Поскольку  $\beta$ -фаза формируется на границе зерна  $\alpha$ -фазы, рост зерна  $\alpha$ -фазы подавляется, так что мелкие кристаллические зерна после плавления и повторного отверждения могут быть сохранены до горячей прокатки после нагревания для горячей прокатки. Соответственно, шероховатость поверхности титанового материала благодаря грубым кристаллическим зернам может быть подавлена, и таким образом может быть произведен горячекатаный титановый материал без поверхностных дефектов.

[0020]

В дополнение к этому, когда плавление выполняется как описано выше,  $\beta$ -стабилизирующий элемент не диспергируется равномерно в расплавленной поверхности отливки из титана, и, следовательно, область с высокой концентрацией этого элемента формируется лишь частично, и в этой части температурная область  $\alpha+\beta$  может быть дополнительно расширена так, чтобы рост зерна  $\alpha$ -фазы при нагревании для горячей прокатки мог быть дополнительно подавлен.

[0021]

Когда поверхностный слой отливки из титана переплавляется на 1 мм или более в глубину, как описано выше, а затем отверждается, часть от поверхностного слоя до глубины 1 мм или больше имеет мелкую игольчатую микроструктуру, получаемую за счет отверждения после переплавки, тогда как центральная сторона в направлении толщины листа титанового материала относительно расплавленного и повторно отвержденного слоя и та часть, на которую она тем самым термически влияет, сохраняет микроструктуру в состоянии сразу после литья. По меньшей мере поверхностный слой, соответствующий прокатываемой поверхности отливки из титана, переплавляется вместе с материалом, содержащим  $\beta$ -стабилизирующий элемент, а затем отверждается так, чтобы среднее значение концентраций  $\beta$ -стабилизирующего элемента в

части от поверхностного слоя до глубины 1 мм в расплавленном и повторно отвержденном слое было более высоким, чем значение концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в основном материале, на 0,08 мас.% или больше и на 1,50 мас.% или меньше. В качестве  $\beta$ -стабилизирующего элемента множество  $\beta$ -стабилизирующих элементов может быть добавлено в комбинации, и в этом случае концентрация  $\beta$ -стабилизирующего элемента относится к сумме концентраций этих  $\beta$ -стабилизирующих элементов. Если разница концентраций  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем составляет меньше чем 0,08 мас.%, добавление  $\beta$ -стабилизирующего элемента в недостаточной степени обеспечивает эффекты улучшения прокаливаемости и подавления кристаллического роста зерна, и поверхностные дефекты легко образуются в титановом материале после горячей прокатки. Для того, чтобы дополнительно проявить эффект подавления поверхностных дефектов, разница концентраций  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем предпочтительно должна превышать 0,2 мас.%, и еще более предпочтительно должна превышать 0,5 мас.%. Кроме того, когда разница концентраций  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находится внутри вышеупомянутого диапазона, обогащенный  $\beta$ -стабилизирующим элементом слой в поверхностном слое удаляется путем травления, выполняемого за счет обработки металлической дробью и травления, которые являются процессами, выполняемыми после горячей прокатки, и обогащенный  $\beta$ -стабилизирующим элементом слой в расплавленном и повторно отвержденном слое нейтрализуется. Таким образом, процессы обработки металлической дробью и травления удаляют обогащенный  $\beta$ -стабилизирующим элементом слой, позволяя получать компоненты и механические свойства, эквивалентные холоднокатаному листу, произведенному обычным способом. Однако если разница концентраций  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным

слоем составляет больше чем 1,50 мас.%, объемная доля  $\beta$ -фазы в поверхностном слое отливки из титана увеличивается при горячей прокатке, так что часть поверхностного слоя сляба интенсивно окисляется по сравнению с основным материалом. Кроме того, увеличение концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в поверхностном слое отливки из титана может привести к увеличению твердости расплавленного и повторно отвержденного слоя по сравнению с основным материалом, вызывая образование поверхностных трещин и т.п. при горячей прокатке. Эти причины делают необходимым увеличение глубины травления поверхности в травильном процессе, что значительно уменьшает выход продукции. В дополнение к этому, становится трудным нейтрализовать обогащенный  $\beta$ -стабилизирующим элементом слой в последующем процессе. Следовательно, среднее значение концентраций  $\beta$ -стабилизирующего элемента в части от поверхностного слоя до глубины 1 мм делается таким, чтобы оно отличалось от концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в основном материале на величину 1,50 мас.% или меньше. В дополнение к этому, хотя указанная глубина плавления составляет 1 мм или больше, слишком большая глубина плавления может привести к неполному удалению обогащенного  $\beta$ -стабилизирующим элементом слоя после процессов обработки металлической дробью и травления; следовательно, желательно, чтобы глубина плавления составляла приблизительно 5 мм или меньше.

[0022]

Кроме того, обычно отливка из титана при литье подвергается отверждению от части поверхностного слоя отливки из титана, находящейся в контакте с литейной формой; поэтому компонентный состав немного отличается между поверхностным слоем и внутренней частью отливки из титана в зависимости от распределения растворенного вещества для каждого элемента. Поскольку  $\beta$ -стабилизирующий элемент, такой как Fe, проявляет нормальную сегрегацию, при отверждении или при превращении концентрация Fe в части поверхностного слоя отливки из титана уменьшается, и концентрация Fe имеет тенденцию к увеличению в направлении к

центру отливки из титана. Следовательно, очень эффективно сделать концентрацию  $\beta$ -стабилизирующего элемента в расплавленном и повторно отвержденном слое эквивалентной или выше, чем его концентрация в основном материале, путем одновременного плавления  $\beta$ -стабилизирующего элемента и основного материала.

[0023]

В дополнение к этому, при литье титанового материала компоненты регулируются путем подачи сырья так, чтобы они были однородными во всем слябе. Однако частично может происходить флуктуация компонентов и подобное. Следовательно, даже в коммерчески чистом титане класса 3 JIS или класса 4 JIS, который изначально имеет высокое содержание Fe, который является  $\beta$ -стабилизирующим элементом, в расплавленном и повторно отвержденном слое существует область, в которой кристаллические зерна не являются в достаточной степени мелкими, в соответствии с флуктуацией компонента Fe, и частичные поверхностные дефекты часто образуются после горячей прокатки. Следовательно, очень эффективно добавлять  $\beta$ -стабилизирующий элемент при плавлении и повторном отверждении для того, чтобы повысить количество добавленного  $\beta$ -стабилизирующего элемента; таким образом, частичные поверхностные дефекты также могут быть подавлены.

[0024]

В поперечном сечении в направлении, перпендикулярном к направлению сканирования расплавленного валика, расплавленный и повторно отвержденный слой имеет тенденцию быть самым глубоким в центре расплавленного валика при переплавке поверхностного слоя отливки из титана, и когда расплавленные валики перекрываются, он является самым мелким в той части, которая находится посередине между смежными расплавленными валиками, причем самая глубокая часть и самая мелкая часть периодически чередуются. Здесь, если разница между самой глубокой частью и самой мелкой частью является большой, эта разница порождает различие в устойчивости к деформации при горячей прокатке, что может вызвать образование дефектов. Следовательно, желательно, чтобы вышеупомянутая разница составляла меньше чем 2 мм. Следует

отметить, что в настоящем изобретении указанная глубина расплавленного и повторно отвержденного слоя составляет 1 мм или больше; эта глубина относится к глубине самой мелкой части, если смотреть на поперечное сечение в направлении, перпендикулярном к направлению сканирования расплавленного валика.

[0025]

Далее будет дано описание способа измерения глубины расплавленного и повторно отвержденного слоя и неоднородности расплавленного и повторно отвержденного слоя. Часть, вырезанная из части поверхностного слоя отливки из титана в поперечном сечении в направлении, перпендикулярном к направлению сканирования расплавленного валика, используется в качестве залитого и отполированного образца для сканирующей электронной микроскопии (SEM)/электронно-зондового микроанализа (EPMA); таким образом можно легко отличить расплавленный и повторно отвержденный слой. В настоящем изобретении, поскольку глубина расплавленного и повторно отвержденного слоя определяется как глубина самой мелкой части, глубина плавления может быть просто получена с помощью анализа распределения элементов. Фиг. 1 показывает один пример измеренных значений изменений в концентрации основного материала и расплавленного и повторно отвержденного слоя. Они получаются путем линейного анализа концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в направлении толщины от части основного материала около поверхностного слоя на прокатываемой поверхности отливки из титана в направлении к прокатываемой поверхности. В основном материале концентрация  $\beta$ -стабилизирующего элемента является низкой и по существу однородной, тогда как в расплавленном и повторно отвержденном слое концентрация  $\beta$ -стабилизирующего элемента является высокой, а также показывает флуктуацию концентрации, которая указывает на неоднородность.

[0026]

Примеры  $\beta$ -стабилизирующего элемента включают в себя V, Mo, Fe, Cr, Mn, Ta, Nb, Ni, Co, Cu и W. Однако в титане такой элемент, как W или Ta, имеющий высокую температуру плавления,

вызывает образование включений с высокой плотностью (HDI), и служит исходной точкой усталости, когда он остается в титановом материале в нерасплавленном состоянии или в недостаточно продифундировавшем состоянии; следовательно, такой элемент должен использоваться с осторожностью. Кроме того, Mo, Nb, и т.п. имеют более низкую температуру плавления, чем W и Ta, но все еще имеют температуру плавления, равную 2000°C или выше; поэтому при использовании Mo или Nb желательно заранее сплавлять их с таким элементом, как Ti, чтобы понизить точку плавления и добавлять уже полученный сплав.  $\beta$ -стабилизирующие элементы могут быть классифицированы на элементы типа полного твердого раствора, такие как V, Mo, Ta и Nb, и на элементы эвтектоидного типа, такие как Fe, Cr, Mn, Co, Ni и Cu.  $\beta$ -стабилизирующие элементы эвтектоидного типа имеют низкую растворимость в твердом состоянии, но имеют высокую способность к стабилизации  $\beta$ -фазы; поэтому добавление  $\beta$ -стабилизирующего элемента эвтектоидного типа эффективно даже при его небольшом количестве. Что касается Fe, Cr, Mn, Co, Ni и Cu, которые имеют эвтектоидный тип, поверхностные дефекты после горячей прокатки могут быть подавлены, когда концентрация  $\beta$ -стабилизирующего элемента в расплавленном и повторно отвержденном слое является более высокой, чем в основном материале, на величину приблизительно от 0,08 мас.% до 0,60 мас.%; следовательно, этот диапазон является предпочтительным. Что касается V, Mo, Ta, и Nb, которые имеют тип полного твердого раствора и низкую способность к стабилизации  $\beta$ -фазы по сравнению с эвтектоидным типом, эффект более легко проявляется при добавлении  $\beta$ -стабилизирующего элемента в большом количестве, так, чтобы концентрация  $\beta$ -стабилизирующего элемента в расплавленном и повторно отвержденном слое была более высокой, чем в основном материале, на величину приблизительно от 0,60 мас.% до 1,50 мас.%. Даже когда используется  $\beta$ -стабилизирующий элемент эвтектоидного типа, поскольку закалка выполняется при отверждении после повторного плавления, скорость охлаждения является высокой, и не образуется

никаких выделений, а также при нагревании для горячей прокатки никаких выделений не образуется, потому что состояние соответствует области  $\alpha+\beta$ . Кроме того, материал, содержащий  $\beta$ -стабилизирующий элемент, может содержать  $\alpha$ -стабилизирующий элемент, например Al, или нейтральный элемент, такой как Sn или Zr. Могут содержаться один или оба из  $\alpha$ -стабилизирующего элемента и нейтрального элемента. Общее количество  $\alpha$ -стабилизирующего элемента и нейтрального элемента в расплавленном и повторно отвержденном слое предпочтительно составляет 2,0 мас.% или меньше по массе основного материала. Fe, Ni и Cr, которые являются относительно недорогими  $\beta$ -стабилизирующими элементами, предпочтительно используются в качестве материала, который будет плавиться вместе с поверхностным слоем отливки из титана в состоянии сразу после отливки. Также эффективно использовать порошок из Fe и подобное или порошок из нержавеющей стали и подобное, или использовать измельченный лом обычной стали или нержавеющей стали. Аналогичным образом может использоваться измельченный лом сплава титана.

[0027]

Материал, используемый для добавления  $\beta$ -стабилизирующего элемента к поверхностному слою отливки, может иметь любую форму из порошка, стружки, проволоки и фольги, и желательно, чтобы материал был мелким. Эффективно использовать любой из следующих материалов: порошок с размером частиц в диапазоне от 1 мкм до 0,5 мм, стружку с размером в диапазоне от 2 мм<sup>2</sup> до 5 мм<sup>2</sup>, проволоку с диаметром в диапазоне от 0,5 мм до 5 мм, и фольгу с толщиной в диапазоне от 1 мкм до 0,1 мм. Такой материал располагается равномерно на поверхности отливки при его помещении или нанесении на поверхность отливки; таким образом, область с той же самой концентрацией, что и концентрация в основном материале, может быть уменьшена в поверхностном слое отливки из титана, что придает отливке из титана более превосходные поверхностные свойства.

[0028]



Способы для плавления поверхностного слоя вместе с  $\beta$ -стабилизирующим элементом включают в себя электроннолучевой нагрев, дуговой нагрев, лазерный нагрев и индукционный нагрев. Титан представляет собой активный металл, и когда поверхностный слой плавится в атмосферном воздухе, расплавленная часть в значительной степени окисляется. Следовательно, подходящими являются следующие способы: электроннолучевой нагрев, дуговой нагрев (в частности способ нагрева, использующий инертный газ, такой как плазменно-дуговой нагрев или сварка вольфрамом в атмосфере инертного газа (TIG)), лазерный нагрев и т.п., которые могут выполнять обработку в вакуумной среде или в атмосфере инертного газа. Вышеупомянутая обработка может быть выполнена любым из этих способов. Из них электроннолучевой нагрев или плазменно-дуговой нагрев, которые могут прикладывать высокую энергию за один раз, являются подходящими для промышленности и предпочтительными для использования.

[ПРИМЕРЫ]

[0029]

Далее настоящее изобретение будет описано более подробно в Примерах.

[0030]

[Таблица 1]

№	Сорт	Разность концентрации $\beta$ -стабилизирующего элемента (мас.%) между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем (поверхностным слоем толщиной 1 мм)					Способ плавления	Глубина расплавленного слоя (мм)	Прокатка сляба	Поверхностные дефекты	Оценка	Примечания
		Форма добавки	Fe	Cr	Ni	Fe+Cr+Ni						
1	Чистый титан класса 1 JIS	нет	0,00	-	-	0,00	нет	0	Да	Незначительные	Хорошо	Справочный пример
2	Чистый титан класса 1 JIS	нет	0,00	-	-	0,00	нет	0	Нет	Грубые	Плохо	Сравнительный пример
3	Чистый титан класса 1 JIS	нет	0,00			0,00	Электронный луч	2	Нет	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
4	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок Fe	0,07	-	-	0,07	Электронный луч	2	Нет	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
5	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок Fe	0,22	-	-	0,22	Электронный луч	0,5	Нет	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
6	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок Fe	0,08	-	-	0,08	Электронный луч	3	Нет	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Пример
7	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок Fe	0,87	-	-	0,87	Электронный луч	1	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
8	Чистый титан класса 2 JIS	Порошок Fe	1,50	-	-	1,50	Электронный луч	5	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
9	Чистый титан класса 2 JIS	Порошок Fe	0,49	-	-	0,49	Электронный луч	7	Нет	Незначительные	Удовлетворительно	Пример
10	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок Fe	1,65	-	-	1,65	Электронный луч	4	Нет	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
11	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка Fe	0,13	-	-	0,13	Электронный луч	3	Нет	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Пример
12	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка Fe	1,30	-	-	1,30	Электронный луч	3	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
13	Чистый титан класса 1 JIS	Проволока из Fe	0,11	-	-	0,11	Электронный луч	3	Нет	частично несколько грубые	Удовлетворительно	Пример

										дефекты	ьно	
14	Чистый титан класса 1 JIS	Проволока из Fe	1,39	-	-	1,39	Электронный луч	3	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
15	Чистый титан класса 1 JIS	Фольга из Fe	0,20	-	-	0,20	Электронный луч	3	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
16	Чистый титан класса 1 JIS	Фольга из Fe	1,36	-	-	1,36	Электронный луч	3	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
17	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок Fe	0,14	-	-	0,14	плазменная дуга	4	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
18	Чистый титан класса 2 JIS	Порошок Fe	1,35	-	-	1,35	плазменная дуга	4	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
19	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок SUS304	0,05	0,01	0,01	<u>0,07</u>	Электронный луч	2	Нет	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
20	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок SUS304	0,06	0,02	0,01	0,09	Электронный луч	2	Нет	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Пример
21	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок SUS304	0,14	0,04	0,02	0,20	Электронный луч	2	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
22	Чистый титан класса 2 JIS	Порошок SUS304	0,98	0,24	0,11	1,33	Электронный луч	2	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
23	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок SUS430	0,06	0,01	-	<u>0,07</u>	Электронный луч	2	Нет	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
24	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок SUS430	0,08	0,01	-	0,09	Электронный луч	2	Нет	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Пример
25	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок SUS430	0,65	0,12	-	0,77	Электронный луч	2	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
26	Чистый титан класса 2 JIS	Порошок SUS430	1,16	0,22	-	1,38	Электронный луч	2	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
27	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Cr	0,00	0,12	-	0,12	Электронный луч	3	Нет	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Пример
28	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Cr	0,00	0,25	-	0,25	Электронный луч	3	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
29	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка из Cr	0,00	1,70	-	<u>1,70</u>	Электронный луч	3	Нет	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
30	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Ni	0,00	-	0,05	<u>0,05</u>	Электронный луч	3	Нет	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
31	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Ni	0,00	-	0,16	0,16	Электронный луч	3	Нет	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Пример

32	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка из Ni	0,00	-	1,20	1,20	Электронный луч	3	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
33	Чистый титан класса 1 JIS	нет	0,00	-	-	0,00	нет	0	Да	Незначительные	Хорошо	Справочный пример
34	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок Fe	0,06	-	-	0,06	Электронный луч	3	Нет	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
35	Чистый титан класса 2 JIS	Порошок Fe	1,30	-	-	1,30	Электронный луч	3	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
36	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Cr	0,00	0,35	-	0,35	Электронный луч	3	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
37	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Ni	0,00	-	1,47	1,47	Электронный луч	3	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример

[Таблица 2]

№	Сорт	Разность концентрации β-стабилизирующего элемента (мас.%) между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем (поверхностным слоем толщиной 1 мм)	Форма добавки										Поверхностные дефекты	Оценка	Примечания	
			Fe	Mo	V	Ta	Mn	Nb	Co	Cu	Cr	Сумма				
38	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Ti-Mo	0,00	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
39	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Ti-Mo	0,00	0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	0,13	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Пример
40	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка из Ti-Mo	0,00	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	0,32	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Сравнительный пример
41	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка из Ti-Mo	0,00	0,60	-	-	-	-	-	-	-	-	0,60	Незначительные	Хорошо	Сравнительный пример
42	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Ti-Mo	0,00	1,57	-	-	-	-	-	-	-	-	1,57	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
43	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из V	0,00	-	0,07	-	-	-	-	-	-	-	0,07	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
44	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из V	0,00	-	0,24	-	-	-	-	-	-	-	0,24	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Пример
45	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка из V	0,00	-	0,67	-	-	-	-	-	-	-	0,67	Незначительные	Хорошо	Пример
46	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Mn	0,00	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	0,05	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
47	Чистый титан	Стружка из	0,00	-	-	-	0,22	-	-	-	-	-	0,22	Незначительные	Хорошо	Пример

	класса 1 JIS	Mn															
48	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка из Mn	0,00	-	-	-	1,34	-	-	-	-	1,34	Незначительные	Хорошо	Пример		
49	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Fe-Nb	0,10	-	-	-	-	0,18	-	-	-	0,28	Незначительные	Хорошо	Пример		
50	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Fe-Nb	0,25	-	-	-	-	0,49	-	-	-	0,74	Незначительные	Хорошо	Пример		
51	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка из Fe-Nb	0,54	-	-	-	-	1,00	-	-	-	<u>1,54</u>	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример		
52	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Co	0,00	-	-	-	-	0,07	-	-	-	<u>0,07</u>	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример		
53	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Co	0,00	-	-	-	-	0,23	-	-	-	0,23	Незначительные	Хорошо	Пример		
54	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка из Co	0,00	-	-	-	-	0,11	-	-	-	0,11	Незначительные	Хорошо	Пример		
55	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Cu	0,00	-	-	-	-	-	0,07	-	-	<u>0,07</u>	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример		
56	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Cu	0,00	-	-	-	-	-	0,16	-	-	0,16	Незначительные	Хорошо	Сравнительный пример		
57	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка из Cu	0,00	-	-	-	-	-	1,28	-	-	1,28	Незначительные	Хорошо	Сравнительный пример		
58	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка 6-4V	0,00	-	0,06	-	-	-	-	-	-	<u>0,06</u>	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример		
59	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка 6-4V	0,00	-	0,12	-	-	-	-	-	-	0,12	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Пример		
60	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка 6-4V	0,00	-	0,64	-	-	-	-	-	-	0,64	Незначительные	Хорошо	Сравнительный пример		
61	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка 15-3-3-3	0,00	-	0,05	-	-	-	-	-	0,01	<u>0,06</u>	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример		
62	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка 15-3-3-3	0,00	-	0,12	-	-	-	-	0,02	0,14	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Пример			
63	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка 15-3-3-3	0,00	-	0,56	-	-	-	-	0,12	0,68	Незначительные	Хорошо	Пример			
64	Чистый титан класса 3 JIS	Стружка Fe	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>0,05</u>	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример		
65	Чистый титан класса 3 JIS	Стружка Fe	0,86	-	-	-	-	-	-	-	-	0,86	Незначительные	Хорошо	Пример		
66	Чистый титан класса 3 JIS	Стружка Fe	1,25	-	-	-	-	-	-	-	-	1,25	Незначительные	Хорошо	Пример		

67	Чистый титан класса 4 JIS	Стружка Fe	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
63	Чистый титан класса 4 JIS	Стружка Fe	0,96	-	-	-	-	-	-	-	-	0,96	Незначительные	Хорошо	Сравнительный пример

[0031]

В каждом из Справочных примеров, Примеров и Сравнительных примеров, показанных в Таблицах 1 и 2, отливка из титана производилась с использованием прямоугольной литейной формы с помощью электроннолучевой переплавки. Следует отметить, что в описанных ниже Примерах и Сравнительных примерах, если явным образом не указано иное, описание дается для случая, в котором горячекатаный лист производится из титанового сляба в состоянии сразу после литья, произведенного с использованием прямоугольной литейной формы. Горячекатаный лист с толщиной 4 мм был произведен с помощью горячей прокатки из отливки из титана с размерами толщина 200 мм × ширина 1000 мм × длина 4500 мм. В качестве титана использовался коммерчески чистый титан класса 1 JIS, класса 2 JIS, класса 3 JIS и класса 4 JIS. В качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовались порошок (с размером частиц 100 мкм или меньше), стружка (размером 2 мм<sup>2</sup> и толщиной 1 мм), проволока (диаметром 1 мм) и фольга (толщиной 20 мкм). Материал, содержащий  $\beta$ -стабилизирующий элемент, помещался или наносился на поверхность отливки из титана (сляба) в состоянии сразу после литья. Поверхностный слой сляба нагревался сверху, и прокатываемая поверхность полностью обрабатывалась путем сканирования нагреваемой части электронными лучами и плазменной дугой; таким образом в материале, содержащем  $\beta$ -стабилизирующий элемент, и в прокатываемой поверхности не оставалось никаких нерасплавленных частей. В дополнение к этому, отливка из титана с относительно превосходной поверхностью литья в состоянии сразу после отливки использовалась для того, чтобы предотвратить образование нерасплавленной части из-за поверхности отливки при плавлении поверхностного слоя. Кроме того, материал, содержащий  $\beta$ -стабилизирующий элемент, диспергировался равномерно на всей прокатываемой поверхности отливки из титана так, чтобы  $\beta$ -стабилизирующий элемент добавлялся равномерно ко всему слябу. В качестве способа для измерения глубины расплавленного и повторно отвержденного слоя из отливки из титана, полученной путем плавления и повторного отверждения

поверхностного слоя, был вырезан образец и подвергнут полировке и травлению, после чего этот образец наблюдался в оптический микроскоп; таким образом была измерена глубина слоя, имеющего тонкую иглообразную микроструктуру (тонкая иглообразная микроструктура, получаемая путем добавления  $\beta$ -стабилизирующего элемента, является различной), причем глубина самой мелкой части среди наблюдаемых областей принималась в качестве глубины расплавленного и повторно отвержденного слоя. Кроме того, аналитические образцы брались в пределах поверхностного слоя толщиной 1 мм в любых десяти точках прокатываемой поверхности отливки из титана и подвергались атомной эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой, и получалось среднее значение для этих десяти точек. В дополнение к этому, для сравнения, аналитические образцы брались в пределах 20 мм поверхностного слоя в любых трех точках прокатываемой поверхности отливки из титана перед переплавкой поверхностного слоя отливки из титана, и точно так же подвергались атомной эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой, и получалось среднее значение для этих трех точек. Для этих двух видов аналитических результатов была изучена разница между средним значением концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в диапазоне внутри 1 мм в глубину расплавленного и повторно отвержденного слоя и средним значением концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в основном материале. Ситуация образования поверхностных дефектов оценивалась путем визуального наблюдения поверхности титанового материала (горячекатаного листа) после того, как горячекатаный лист подвергался обработке металлической дробью и травлению после горячей прокатки. Травление выполнялось приблизительно на 50 мкм с одной стороны прокатываемой поверхности (приблизительно на 100 мкм для обеих сторон) за один раз. После того, как лист был подвергнут травлению несколько раз, оценивались поверхностные свойства горячекатаного листа. Следует отметить, что аналитический образец брался в пределах поверхностного слоя толщиной 1 мм для сравнительного примера, не подвергавшегося плаванию



поверхностного слоя, и аналитический образец брался в пределах расплавленного и повторно отвержденного слоя для Сравнительного примера с толщиной расплавленного и повторно отвержденного слоя меньше чем 1 мм.

[0032]

Сначала будет дано описание результатов для отливок из титана, поверхностные слои которых плавилась вместе с материалами, содержащими Fe, Ni и Cr, которые являются недорогими  $\beta$ -стабилизирующими элементами.

[0033]

В Справочном примере и Сравнительном примере №№ 1 и 2 горячая прокатка выполнялась без выполнения плавления поверхностного слоя. Поскольку плавление поверхностного слоя не проводилось, концентрация  $\beta$ -стабилизирующего элемента внутри поверхностного слоя толщиной 1 мм была равна концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в основном материале, и разница между ними была меньше чем 0,08 мас.%. В Справочном примере № 1 прокатка сляба выполнялась как с обычной отливкой из титана. Прокатка сляба выполнялась от толщины 200 мм до 100 мм, а затем нагревание было выполнено снова, и горячая прокатка была выполнена до толщины 4 мм. Из-за прокатки сляба не было никаких проблем в поверхностных свойствах после горячей прокатки. В Сравнительном примере № 2 прокатка сляба не выполнялась. Поскольку прокатка сляба не выполнялась, грубые поверхностные дефекты образовались в горячекатаном листе после травления.

В Сравнительном примере № 3 поверхностный слой на прокатываемой поверхности плавился с помощью электроннолучевого нагрева, и  $\beta$ -стабилизирующий элемент при плавлении не использовался. Хотя был получен расплавленный и повторно отвержденный слой толщиной 2 мм или больше, основной материал и расплавленный и повторно отвержденный слой имели равные концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента, потому что  $\beta$ -стабилизирующий элемент не добавлялся, и разница в концентрации между ними была меньше чем 0,08 мас.%. На поверхности

горячекатаного листа после горячей прокатки и травления частично образовались грубые дефекты.

[0034]

В Сравнительных примерах № 4 и 5 поверхностный слой на прокатываемой поверхности плавился с помощью электроннолучевого нагрева с использованием порошка из Fe в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент. В Сравнительном примере № 4 расплавленный и повторно отвержденный слой имел более высокую концентрацию  $\beta$ -стабилизирующего элемента, чем основной материал, разница между ними составляла меньше чем 0,08 мас.%, и расплавленный и повторно отвержденный слой имел глубину 2 мм. Поскольку концентрация Fe была меньше 0,08 мас.%, грубые дефекты частично образовались на поверхности горячекатаного листа после травления. В Сравнительном примере № 5 расплавленный и повторно отвержденный слой имел концентрацию  $\beta$ -стабилизирующего элемента выше, чем основной материал, на 0,22 мас.%, и расплавленный и повторно отвержденный слой имел глубину 0,5 мм в самой мелкой части. Поскольку глубина расплавленного и повторно отвержденного слоя составляла меньше чем 1 мм, грубые дефекты частично образовались на поверхности горячекатаного листа после травления. Сравнительные примеры №№ 4 и 5 показали улучшенные поверхностные свойства горячекатаного листа по сравнению со Сравнительным примером № 2, но имели несколько большие поверхностные дефекты, и качество было недостаточным.

[0035]

Примеры №№ 6-9 и 11-16, а также Сравнительный пример № 10 использовали электроннолучевой нагрев в качестве способа плавления поверхностного слоя сляба, и подвергались тесту горячей прокатки с изменением количества и форм материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент.

[0036]

В Примерах №№ 6-9 и Сравнительном примере № 10 в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовался порошок.

[0037]

В Примере № 6 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем составляла 0,08 мас.%, и расплавленный и повторно отвержденный слой имел глубину 3 мм. Несколько грубые дефекты поверхности частично образовались на горячекатаном листе после травления, но они находились на допустимом уровне, и очень хорошие поверхностные свойства были показаны по сравнению с Примерами №№ 4 и 5.

[0038]

В Примере № 7 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем составляла 0,87 мас.%, и расплавленный и повторно отвержденный слой имел глубину 1 мм. В Примере № 8 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем составляла 1,50 мас.%, и расплавленный и повторно отвержденный слой имел глубину 5 мм. В Примерах №№ 7 и 8 поверхностные дефекты после травления были незначительными, и были получены превосходные поверхностные свойства.

[0039]

В Примере № 9 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем составляла 0,49 мас.%, и расплавленный и повторно отвержденный слой имел глубину 7 мм. Хотя горячекатаный лист после травления показал превосходные поверхностные свойства, глубина расплавленного и повторно отвержденного слоя составляла 7 мм, что увеличило количество раз травления по сравнению с нормальным случаем для удаления обогащенного железом слоя; таким образом, выход был уменьшен по сравнению с Примером № 8.

[0040]

В сравнительном примере № 10 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем составляла 1,67 мас.%, и расплавленный и повторно отвержденный слой имел глубину

4 мм. Грубые дефекты частично образовались на поверхности горячекатаного листа после травления, а также образовались поверхностные трещины, и качество было недостаточным.

[0041]

В Примерах №№ 11-16 поверхностный слой нагревался так, чтобы расплавленный и повторно отвержденный слой в поверхностном слое сляба имел глубину 3 мм. Примеры №№ 11 и 12 использовали стружку в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент. Примеры №№ 13 и 14 использовали проволоку в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент. Примеры №№ 15 и 16 использовали фольгу в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент. В Примерах №№ 11-16 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем составляла 0,08 мас.% или больше, и поверхностные дефекты горячекатаного листа имели допустимый уровень и были незначительными.

[0042]

В соответствии с вышеописанными результатами превосходные поверхностные свойства горячекатаного листа были получены при использовании в качестве формы материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, любой формы из порошка, стружки, проволоки и фольги.

[0043]

Примеры №№ 17 и 18 использовали порошок в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, и подвергались тесту горячей прокатки с изменением способа плавления поверхностного слоя сляба. В Примерах №№ 17 и 18 плазменно-дуговой нагрев использовался в качестве способа плавления поверхностного слоя сляба, и расплавленный и повторно отвержденный слой имел глубину 4 мм. В Примерах №№ 17 и 18 поверхностные дефекты горячекатаного листа после травления были незначительными, и результаты были превосходными.

[0044]

В соответствии с вышеописанными результатами превосходные поверхностные свойства горячекатаного листа были получены при использовании в качестве способа плавления поверхностного слоя слэба любого из электроннолучевого нагрева и плазменно-дугового нагрева.

[0045]

Далее будет дано описание результатов для тех случаев, когда использовалась нержавеющая сталь, содержащая Cr и Ni в дополнение к Fe.

[0046]

В Сравнительном примере и Примерах №№ 19-22 порошок из стали SUS304 использовался в качестве нержавеющей стали, и поверхностный слой плавился с помощью электроннолучевого нагрева так, чтобы обеспечить расплавленный и повторно отвержденный слой глубиной 2 мм. В Сравнительном примере № 19 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые поверхностные дефекты образовались в горячекатаном листе. В Примерах №№ 20-22 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем составляла 0,08 мас.% или больше, и поверхностные дефекты горячекатаного листа имели допустимый уровень и были незначительными.

[0047]

В Сравнительном примере и Примерах №№ 23-26 порошок из стали SUS430 использовался в качестве нержавеющей стали, и поверхностный слой плавился с помощью электроннолучевого нагрева так, чтобы обеспечить расплавленный и повторно отвержденный слой глубиной 2 мм. В Сравнительном примере № 23 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые поверхностные дефекты образовались в горячекатаном листе. В Примерах №№ 24-26 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным

материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем составляла 0,08 мас.% или больше, и поверхностные дефекты горячекатаного листа имели допустимый уровень и были незначительными.

[0048]

Далее, в Сравнительных примерах и Примерах №№ 27-32 Cr или Ni добавлялся отдельно. В Сравнительном примере и Примерах №№ 27-29 использовалась хромовая стружка, и поверхностный слой плавился с помощью электроннолучевого нагрева так, чтобы обеспечить расплавленный и повторно отвержденный слой глубиной 3 мм. В Примерах №№ 27 и 28 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем составляла 0,08 мас.% или больше и 1,5 мас.% или меньше, и поверхностные дефекты горячекатаного листа частично были несколько грубыми, но в основном результаты были отличными. В Сравнительном примере № 29 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была равна 1,50 мас.% или больше, и грубые дефекты частично образовались на поверхности горячекатаного листа после травления, также наблюдались и поверхностные трещины; и по сравнению с Примерами №№ 27 и 28 были показаны худшие поверхностные свойства.

[0049]

В Сравнительном примере и Примерах №№ 30-32 использовалась никелевая стружка, и поверхностный слой плавился с помощью электроннолучевого нагрева так, чтобы обеспечить расплавленный и повторно отвержденный слой глубиной 3 мм. В Сравнительном примере № 30 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые поверхностные дефекты частично образовались в горячекатаном листе. В Примерах №№ 31 и 32 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри

диапазона от 0,08 мас.%, до 1,50 мас.%, и в обоих случаях поверхностные дефекты горячекатаного листа имели допустимый уровень.

[0050]

В Примерах и Сравнительном примере №№ 33-37 катанка с диаметром 13 мм была произведена путем горячей прокатки из цилиндрического слитка металла с размерами диаметр 170 мм × длина 12 м, полученного с помощью электроннолучевой переплавки. Поверхностные дефекты оценивались путем визуального наблюдения поверхностного слоя катанки после травления, как и для горячекатаного листа.

[0051]

В Справочном примере № 33 горячая прокатка выполнялась без плавления поверхностного слоя. Поскольку плавление поверхностного слоя не проводилось, концентрация  $\beta$ -стабилизирующего элемента внутри поверхностного слоя толщиной 1 мм была равна концентрации Fe в основном материале. Прокатка сляба выполнялась как с обычной отливкой из титана. Из-за того, что прокатка сляба выполнялась, не было никаких проблем в поверхностных свойствах после горячей прокатки.

[0052]

В Сравнительном примере и Примере №№ 34 и 35 в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовался порошок из Fe. В Сравнительном примере № 34 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые дефекты образовались частично как поверхностные дефекты горячекатаного листа. В Примере № 35 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.%, до 1,50 мас.%, и были получены превосходные поверхностные свойства.

[0053]

В Примере № 36 в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовалась хромовая стружка. В

Примере № 36 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас. % до 1,50 мас. %, и были получены превосходные поверхностные свойства.

[0054]

В Примере № 37 в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовалась никелевая стружка. Также в Примере № 37 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас. % до 1,50 мас. %, и были получены превосходные поверхностные свойства, как и в Примерах №№ 35 и 36.

[0055]

В Сравнительных примерах и Примерах №№ 38-66 поверхностный слой титанового материала плавился с помощью электроннолучевого нагрева так, чтобы получить глубину плавления 4 мм. Описание приводится для случаев, в которых добавлялись различные  $\beta$ -стабилизирующие элементы.

[0056]

В Сравнительных примерах и Примере №№ 38-42 в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовалась стружка из сплава Ti-Mo. В Сравнительном примере № 38 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас. %, и грубые дефекты образовались частично на поверхности горячекатаного листа. В Примерах №№ 39-41 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас. % до 1,50 мас. %, и в каждом случае горячекатаный лист показал превосходное состояние поверхности по сравнению со Сравнительным примером № 38. В Сравнительном примере № 42 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем превышала 1,50 мас. %, и грубые дефекты образовались частично на поверхности



горячекатаного листа после травления. Поверхностные трещины также наблюдались; были показаны плохие поверхностные свойства.

[0057]

В Сравнительном примере и Примерах №№ 43-45 в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовалась стружка из V. В Сравнительном примере № 43 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и горячекатаный лист показал плохие поверхностные свойства, и частично образовались грубые дефекты. В Примерах №№ 44 и 45 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.% до 1,50 мас.%, и в обоих случаях поверхностные дефекты горячекатаного листа имели допустимый уровень.

[0058]

В Сравнительном примере и Примерах №№ 46-48 в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовалась стружка из Mn. В Сравнительном примере № 46 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые дефекты образовались частично на поверхности горячекатаного листа. В Примерах №№ 47 и 48 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.% до 1,50 мас.%, и поверхностное состояние находилось в допустимом диапазоне по сравнению со Сравнительным примером № 46.

[0059]

В Сравнительном примере и Примерах №№ 49-51 в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовалась стружка из сплава Fe-Nb. В Примерах №№ 49 и 50 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.% до 1,50 мас.%, и

поверхностное состояние было превосходно, а дефекты были незначительными. В Сравнительном примере № 51 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем превышала 1,50 мас.%, и грубые дефекты образовались частично на поверхности горячекатаного листа после травления.

[0060]

В Сравнительном примере и Примерах №№ 52-54 в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовалась стружка из Co. В Сравнительном примере № 52 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые дефекты образовались частично на поверхности горячекатаного листа. В Примерах №№ 53 и 54 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.% до 1,50 мас.%, и поверхностное состояние находилось было превосходным по сравнению со Сравнительным примером № 52.

[0061]

В Сравнительном примере и Примерах №№ 55-57 в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовалась стружка из Cu. В Сравнительном примере № 55 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые дефекты образовались частично на поверхности горячекатаного листа после травления. В Примерах №№ 56 и 57 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.% до 1,50 мас.%, и были получены превосходные поверхностные свойства.

[0062]

В Сравнительном примере и Примерах №№ 58-60 стружка из сплава титана, полученная путем измельчения лома сплава Ti-6Al-4V (стружка 6-4V), который представляет собой сплав титана типа

$\alpha+\beta$ , добавлялась в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент.

[0063]

В Сравнительном примере № 58 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые дефекты образовались частично на поверхности горячекатаного листа после травления. В Примерах №№ 59 и 60, хотя добавлялся Al, который является  $\alpha$ -стабилизирующим элементом, разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.% до 1,50 мас.%, и поверхностные дефекты имели допустимый уровень.

[0064]

В Сравнительном примере и Примерах №№ 61-63 стружка из сплава титана, полученная путем измельчения лома сплава Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al (стружка 15-3-3-3), который представляет собой сплав титана типа  $\alpha+\beta$ , добавлялась в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент.

[0065]

В Сравнительном примере № 61 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые дефекты образовались частично на поверхности горячекатаного листа. В Примерах №№ 62 и 63 добавлялись Al, который является  $\alpha$ -стабилизирующим элементом, и Sn, который является нейтральным элементом, и разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.% до 1,50 мас.%. В качестве поверхностных дефекты горячекатаного листа они соответственно показали несколько грубые дефекты, наблюдаемые частично, а также незначительные дефекты; таким образом, эффект подавления поверхностных дефектов горячекатаного листа при этих условиях также был продемонстрирован.

В Сравнительных примерах и Примерах №№ 64–68 поверхностные слои отливок из чистого титана и сплава титана плавилась вместе со стружкой из Fe электронными лучами так, чтобы получить глубину плавления 3 мм.

В Примерах №№ 64–66 титановый сляб из чистого титана класса 3 JIS использовался в качестве титанового материала.

В Сравнительном примере № 64 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые дефекты образовались частично на поверхности горячекатаного листа. В Примерах №№ 65 и 66 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.% до 1,50 мас.%, и в обоих случаях поверхностные дефекты горячекатаного листа были незначительными.

В Примерах №№ 67 и 68 титановый сляб из чистого титана класса 4 JIS использовался в качестве титанового материала.

В Сравнительном примере № 67 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые поверхностные дефекты образовались частично в горячекатаном листе после травления. В Примере № 68 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.% до 1,50 мас.%, и поверхность горячекатаного листа была превосходной.

**ОТЛИВКА ИЗ ТИТАНА ДЛЯ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ И СПОСОБ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВА**

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

[0001]

Настоящее изобретение относится к способу производства отливки из титана для горячей прокатки, выполненной из коммерчески чистого титана, в частности к отливке из титана, которая может сохранять превосходные характеристики поверхности после горячей прокатки, даже когда процесс деформации (обжатия), такой как прокатка сляба, ковка и подобное, опускается, а также к способу ее производства.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0002]

В большинстве случаев для коммерчески чистого титана используют в качестве сырья титановую губку или титановый лом. Он плавится с помощью электродуговой переплавки с нерасходуемым электродом, электроннолучевой переплавкой, плазменной электродуговой переплавки и т.п. в титановый слиток (отливку из титана). Электродуговая переплавка с нерасходуемым электродом использует спрессованную в брикет титановую губку в качестве электрода, и с помощью дугового разряда между электродом и литейной формой плавит сам электрод и отливает его в литейную форму, получая тем самым слиток металла. Следовательно, необходим однородный разряд между электродом и литейной формой, что ограничивает геометрию литейной формы цилиндрической формой; и соответственно форма слитка металла после литья является цилиндрической. С другой стороны, электроннолучевая переплавка и плазменная электродуговая переплавка, которые используют электронные лучи и плазменную дугу, соответственно, отличаются по способу плавки, но оба эти способа содержат литье расплавленного титана на днище в литейную форму, и это позволяет свободно выбирать конструкцию литейной формы; таким образом возможно произвести слитки металла с различными формами, такими как прямоугольная форма и форма билета, а также цилиндрическая форма.

[0003]

В современном процессе производства титанового материала после этого выполняется процесс горячей обработки, такой как прокатка сляба или ковка, которую называют процессом деформации слитка металла, а затем выполняется горячая прокатка; процесс деформации является необходимым. Однако, согласно формам, считается, что процесс деформации может быть пропущен в производстве листового материала из прямоугольного слитка металла (сляба) и в производстве прутка или катанки из цилиндрического слитка металла и биллета, и проводилось изучение технологии выполнения горячей прокатки без процесса деформации. Если эта технология будет реализована, то можно будет ожидать снижения затрат за счет упрощения процесса и увеличения выхода.

[0004]

Однако отливка из титана, произведенная с помощью электроннолучевой переплавки или плазменной электродуговой переплавки, находится в состоянии после литья, и поэтому содержит крупные зерна с размерами в несколько десятков миллиметров. Что касается такой отливки из титана, когда горячая прокатка выполняется без процесса деформации, из-за крупных зерен влияние деформационной анизотропии в зерне и между кристаллическими зернами вызывает шероховатость поверхности, приводя к поверхностным дефектам. Для того, чтобы удалить поверхностные дефекты, которые образуются при горячей прокатке, необходимо увеличить количество травления поверхности горячекатаного материала в травильном процессе, который является следующим процессом, и соответственно выход ухудшается и может приводить к увеличению затрат.

[0005]

Соответственно, для слитка титана, производимого с помощью электроннолучевой переплавки или плазменной электродуговой переплавки, в то время как ожидается, что затраты будут снижены за счет исключения процесса деформации в виде прокатки сляба, ковки и т.п., существует вероятность того, что увеличение поверхностных дефектов может вызвать увеличение затрат. Это обстоятельство тормозило практическое использование отливки из титана, полученной без процесса деформации.

[0006]

Патентный документ 1 раскрывает способ, который обеспечивает превосходную поверхность отливки и может улучшить поверхностные дефекты после горячей прокатки, даже когда процесс деформации слитка металла опускается в следующем случае: в микроструктуре поперечного сечения титанового сляба, произведенного в печи для электроннолучевой переплавки и извлеченного прямо из литейной формы, угол  $\theta$ , образуемый направлением отверждения от поверхностного слоя к внутренности и направлением литья сляба, находится в диапазоне от 45 до 90°, или в распределении кристаллической ориентации поверхностного слоя угол, образуемый с-осью гексагональной структуры с плотной упаковкой и нормалью к поверхностному слою сляба, находится в диапазоне от 35 до 90°. Таким образом, управление формой и кристаллической ориентацией кристаллических зерен поверхности подавляет образование дефектов вследствие грубых кристаллических зерен.

[0007]

В Патентном документе 2 в качестве способа для прямого выполнения горячей прокатки без процесса деформации слитка титанового материала, поверхностный слой прокатываемой поверхности подвергается плавлению и повторному отверждению с помощью высокочастотного индукционного нагрева, электродугового нагрева, плазменного нагрева, электроннолучевого нагрева, лазерного нагрева и т.п.; таким образом часть металла от поверхностного слоя до глубины 1 мм или больше подвергается измельчению зерна. Этот поверхностный слой сляба закаляется и отверждается так, чтобы иметь мелкое и нерегулярное распределение осей кристаллической ориентации, которое предотвращает образование поверхностных дефектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ПАТЕНТНАЯ ЛИТЕРАТУРА

[0008]

Патентный документ 1: WO 2010/090353

Патентный документ 2: JP 2007-332420A

## СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

## ТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА

[0009]

Настоящее изобретение предлагает отливку из титана и способ для ее производства, где отливка из титана получается без какой-либо потребности в процессе резания и кондиционирования для поверхностного слоя свежеполученной титановой отливки или без какого-либо процесса деформации, и образование поверхностных дефектов подавляется в титановом материале после последующей горячей прокатки.

## РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

[0010]

Авторы настоящего изобретения провели обширные исследования для того, чтобы достичь цели. В результате было обнаружено следующее. Когда отливка из титана, произведенная с помощью электроннолучевой переплавки или плазменной электродуговой переплавки в качестве способа для плавки отливки из титана, сделанной из чистого титана, подвергается горячей прокатке без процесса деформации, который был традиционно необходим, некоторый материал (порошок, стружка, проволока или фольга), содержащий  $\beta$ -стабилизирующий элемент, помещается или наносится на поверхностный слой прокатываемой поверхности отливки из титана в состоянии сразу после отливки, и поверхностный слой титанового материала плавится с этим материалом в качестве предварительного процесса горячей прокатки. Таким образом, слой, имеющий более высокую концентрацию  $\beta$ -стабилизирующего элемента, чем основной материал, то есть богатый  $\beta$ -стабилизирующим элементом слой, формируется в поверхностном слое титанового материала. Это позволяет сохранять превосходные свойства поверхности после горячей прокатки.

[0011]

Таким образом, настоящее изобретение описано ниже.

(1) Отливка из титана, выполненная из коммерчески чистого титана и содержащая:



слой, содержащий один или более  $\beta$ -стабилизирующих элементов в диапазоне 1 мм или более вглубь от поверхности, служащей в качестве прокатываемой поверхности,

причем среднее значение концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в диапазоне внутри 1 мм в глубину является более высоким, чем значение концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в основном материале, на величину 0,08 мас.% или больше и 1,50 мас.% или меньше.

(2). Отливка из титана по п. (1),

в которой  $\beta$ -стабилизирующий элемент (элементы) представляет собой один или более из Fe, Ni и Cr.

(3). Отливка из титана по п. (1), содержащая один или более  $\alpha$ -стабилизирующих элементов или нейтральных элементов вместе с  $\beta$ -стабилизирующим элементом (элементами).

(4). Способ производства отливки из титана, содержащий:

плавление поверхности, служащей в качестве прокатываемой поверхности отливки из титана, вместе с материалом, содержащим  $\beta$ -стабилизирующий элемент, а затем отверждение этой поверхности для обеспечения среднего значения концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в диапазоне внутри 1 мм в глубину является более высоким, чем значение концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в основном материале, на величину 0,08 мас.% или больше и 1,50 мас.% или меньше, причем отливка из титана выполнена из коммерчески чистого титана.

(5). Способ по п. (4),

в котором материал, содержащий  $\beta$ -стабилизирующий элемент, имеет любую форму из порошка, стружки, проволоки и фольги.

(6) Способ по п. (4),

в котором поверхность, служащая в качестве прокатываемой поверхности отливки из титана, плавят с помощью электроннолучевого нагрева или плазменного нагрева, причем отливка из титана выполнена из коммерчески чистого титана.

ПОЛЕЗНЫЕ ЭФФЕКТЫ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0012]

С использованием отливки из титана в соответствии с настоящим изобретением, даже когда горячая прокатка выполняется без процесса деформации, такого как прокатка сляба, ковка и т.п., который был традиционно необходимым, может быть произведен титановый материал, имеющий поверхностные свойства, эквивалентные поверхностным свойствам обычного материала. Уменьшение продолжительности нагрева благодаря исключению процесса деформации, уменьшение обработки резанием, достигаемое за счет сглаживания поверхностного слоя отливки из титана благодаря плавлению поверхностного слоя, уменьшение количества травления благодаря повышению поверхностных свойств титанового материала после горячей прокатки и т.п. приводят к повышению выхода, оказывая эффект сокращения производственных затрат; таким образом настоящее изобретение предполагает большой эффект в промышленности.

#### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0013]

[Фиг. 1] Фиг. 1 схематично показывает изменение концентрации в расплавленном и повторно отвержденном слое.

#### ОПИСАНИЕ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

[0014]

Далее настоящее изобретение будет описано подробно.

[0015]

В настоящем изобретении коммерчески чистый титан включает в себя коммерчески чистый титан, соответствующий классам 1-4 японского промышленного стандарта JIS, а также соответствующим им классам 1-4 стандарта ASTM, а также 3.7025 стандарта DIN. Таким образом, интересующий коммерчески чистый титан в настоящем изобретении является титаном, состоящим из С: 0,1 мас.% или меньше, Н: 0,015 мас.% или меньше, О: 0,4 мас.% или меньше, N: 0,07 мас.% или меньше, Fe: 0,5 мас.% или меньше, с остатком из Ti. Следует отметить, что Fe, содержащийся в большом количестве по сравнению с другими  $\beta$ -стабилизирующими элементами в коммерчески чистом титане, по существу содержится в количестве

от приблизительно 0,020 мас. % до 0,05 мас. % в титане классов 1 и 2 JIS, и приблизительно 0,08 мас. % в титане класса 3 JIS.

[0016]

Интересующие отливки из титана в настоящем изобретении включают в себя прямоугольные слитки металла (слябы), цилиндрические слитки металла и биллеты. Поверхностный слой отливки из титана с такой формой плавится вместе с материалом, содержащим  $\beta$ -стабилизирующий элемент, так что поверхностные дефекты подавляются для титанового материала после горячей прокатки.

[0017]

В настоящем изобретении только часть поверхностного слоя отливки из титана в состоянии сразу после литья нагревается для плавления на 1 мм или более в глубину. Часть поверхностного слоя отливки из титана, расплавленная таким образом, резко охлаждается и повторно отверждается после плавления, и микроструктура поперечного сечения расплавленного и повторно отвержденного слоя, охлажденного до комнатной температуре (отвержденный слой, который получается путем плавления только части поверхностного слоя отливки из титана в состоянии сразу после литья путем нагревания, а затем выполнения охлаждения и повторного отверждения таким образом, называют «расплавленным и повторно отвержденным слоем»), представляет собой мелкую иглообразную микроструктуру. Кроме того, при плавлении поверхностного слоя, поверхностный слой основного материала плавится одновременно с  $\beta$ -стабилизирующим элементом; таким образом, концентрация  $\beta$ -стабилизирующего элемента в расплавленном и повторно отвержденном слое становится более высокой, чем в основном материале, и, следовательно, улучшение прокаливаемости благодаря добавлению  $\beta$ -стабилизирующего элемента заставляет расплавленный и повторно отвержденный слой иметь еще более тонкую микроструктуру. «Улучшение прокаливаемости» здесь относится к низкотемпературному превращению, достигаемому путем сдвига переднего края превращения при непрерывном охлаждении в более долгосрочную сторону за счет содержания  $\beta$ -стабилизирующего

элемента в поверхностном слое отливки из титана. Цель низкотемпературного превращения заключается в увеличении мест зародышеобразования для того, чтобы сделать кристаллические зерна более мелкими.

[0018]

Как будет описано позже, в настоящем изобретении сформированный расплавленный и повторно отвержденный слой включает в себя глубокую часть и мелкую часть. В настоящем изобретении заданная глубина расплавленного и повторно отвержденного слоя составляет 1 мм или больше; эта глубина относится к глубине самой мелкой части, если смотреть на поперечное сечение в направлении, перпендикулярном к направлению сканирования расплавленного валика.

[0019]

Обычно коммерчески чистый титан подвергается горячей прокатке в однофазной  $\alpha$ -области, которая находится ниже температуры точки  $\beta$ -превращения. Следовательно, отливка из титана нагревается до высокотемпературной области  $\alpha$ -фазы, которая является температурой нагрева для горячей прокатки. В большинстве случаев коммерчески чистый титан содержит в качестве элемента сплава  $\beta$ -стабилизирующий элемент, такой как Fe, в ничтожно малом количестве, и таким образом существует небольшая температурная область  $\alpha+\beta$ . В нормальном коммерчески чистом титане, однако, температурная область  $\alpha+\beta$  является очень узкой температурной областью всего в нескольких десятках градусов. В отличие от этого, в отливке из титана, получаемой путем добавления  $\beta$ -стабилизирующего элемента к поверхностному слою вышеописанной отливки из титана и плавления  $\beta$ -стабилизирующего элемента одновременно с поверхностным слоем титанового материала и выполнения повторного отверждения, концентрация  $\beta$ -стабилизирующего элемента в поверхностном слое является более высокой, чем в основном материале. Стабильность  $\beta$ -фазы поэтому является высокой в расплавленном и повторно отвержденном слое, что расширяет температурную область  $\alpha+\beta$ ; таким образом,

внутренняя часть расплавленного и повторно отвержденного слоя может быть приведена в состояние области  $\alpha+\beta$  при нагревании для горячей прокатки. Поскольку  $\beta$ -фаза формируется на границе зерна  $\alpha$ -фазы, рост зерна  $\alpha$ -фазы подавляется, так что мелкие кристаллические зерна после плавления и повторного отверждения могут быть сохранены до горячей прокатки после нагревания для горячей прокатки. Соответственно, шероховатость поверхности титанового материала благодаря грубым кристаллическим зернам может быть подавлена, и таким образом может быть произведен горячекатаный титановый материал без поверхностных дефектов.

[0020]

В дополнение к этому, когда плавление выполняется как описано выше,  $\beta$ -стабилизирующий элемент не диспергируется равномерно в расплавленной поверхности отливки из титана, и, следовательно, область с высокой концентрацией этого элемента формируется лишь частично, и в этой части температурная область  $\alpha+\beta$  может быть дополнительно расширена так, чтобы рост зерна  $\alpha$ -фазы при нагревании для горячей прокатки мог быть дополнительно подавлен.

[0021]

Когда поверхностный слой отливки из титана переплавляется на 1 мм или более в глубину, как описано выше, а затем отверждается, часть от поверхностного слоя до глубины 1 мм или больше имеет мелкую игольчатую микроструктуру, получаемую за счет отверждения после переплавки, тогда как центральная сторона в направлении толщины листа титанового материала относительно расплавленного и повторно отвержденного слоя и та часть, на которую она тем самым термически влияет, сохраняет микроструктуру в состоянии сразу после литья. По меньшей мере поверхностный слой, соответствующий прокатываемой поверхности отливки из титана, переплавляется вместе с материалом, содержащим  $\beta$ -стабилизирующий элемент, а затем отверждается так, чтобы среднее значение концентраций  $\beta$ -стабилизирующего элемента в части от поверхностного слоя до глубины 1 мм в расплавленном и повторно отвержденном слое было более высоким, чем значение

концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в основном материале, на 0,08 мас.% или больше и на 1,50 мас.% или меньше. В качестве  $\beta$ -стабилизирующего элемента множество  $\beta$ -стабилизирующих элементов может быть добавлено в комбинации, и в этом случае концентрация  $\beta$ -стабилизирующего элемента относится к сумме концентраций этих  $\beta$ -стабилизирующих элементов. Если разница концентраций  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем составляет меньше чем 0,08 мас.%, добавление  $\beta$ -стабилизирующего элемента в недостаточной степени обеспечивает эффекты улучшения прокаливаемости и подавления кристаллического роста зерна, и поверхностные дефекты легко образуются в титановом материале после горячей прокатки. Для того, чтобы дополнительно проявить эффект подавления поверхностных дефектов, разница концентраций  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем предпочтительно должна превышать 0,2 мас.%, и еще более предпочтительно должна превышать 0,5 мас.%. Кроме того, когда разница концентраций  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находится внутри вышеупомянутого диапазона, обогащенный  $\beta$ -стабилизирующим элементом слой в поверхностном слое удаляется путем травления, выполняемого за счет обработки металлической дробью и травления, которые являются процессами, выполняемыми после горячей прокатки, и обогащенный  $\beta$ -стабилизирующим элементом слой в расплавленном и повторно отвержденном слое нейтрализуется. Таким образом, процессы обработки металлической дробью и травления удаляют обогащенный  $\beta$ -стабилизирующим элементом слой, позволяя получать компоненты и механические свойства, эквивалентные холоднокатаному листу, произведенному обычным способом. Однако если разница концентраций  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем составляет больше чем 1,50 мас.%, объемная доля  $\beta$ -фазы в поверхностном слое отливки из титана увеличивается при горячей

прокатке, так что часть поверхностного слоя сляба интенсивно окисляется по сравнению с основным материалом. Кроме того, увеличение концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в поверхностном слое отливки из титана может привести к увеличению твердости расплавленного и повторно отвержденного слоя по сравнению с основным материалом, вызывая образование поверхностных трещин и т.п. при горячей прокатке. Эти причины делают необходимым увеличение глубины травления поверхности в травильном процессе, что значительно уменьшает выход продукции. В дополнение к этому, становится трудным нейтрализовать обогащенный  $\beta$ -стабилизирующим элементом слой в последующем процессе. Следовательно, среднее значение концентраций  $\beta$ -стабилизирующего элемента в части от поверхностного слоя до глубины 1 мм делается таким, чтобы оно отличалось от концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в основном материале на величину 1,50 мас.% или меньше. В дополнение к этому, хотя указанная глубина плавления составляет 1 мм или больше, слишком большая глубина плавления может привести к неполному удалению обогащенного  $\beta$ -стабилизирующим элементом слоя после процессов обработки металлической дробью и травления; следовательно желательно, чтобы глубина плавления составляла приблизительно 5 мм или меньше.

[0022]

Кроме того, обычно отливка из титана при литье подвергается отверждению от части поверхностного слоя отливки из титана, находящейся в контакте с литейной формой; поэтому компонентный состав немного отличается между поверхностным слоем и внутренней частью отливки из титана в зависимости от распределения растворенного вещества для каждого элемента. Поскольку  $\beta$ -стабилизирующий элемент, такой как Fe, проявляет нормальную сегрегацию, при отверждении или при превращении концентрация Fe в части поверхностного слоя отливки из титана уменьшается, и концентрация Fe имеет тенденцию к увеличению в направлении к центру отливки из титана. Следовательно, очень эффективно сделать концентрацию  $\beta$ -стабилизирующего элемента в расплавленном

и повторно отвержденном слое эквивалентной или выше, чем его концентрация в основном материале, путем одновременного плавления  $\beta$ -стабилизирующего элемента и основного материала.

[0023]

В дополнение к этому, при литье титанового материала компоненты регулируются путем подачи сырья так, чтобы они были однородными во всем слябе. Однако частично может происходить флуктуация компонентов и подобное. Следовательно, даже в коммерчески чистом титане класса 3 JIS или класса 4 JIS, который изначально имеет высокое содержание Fe, который является  $\beta$ -стабилизирующим элементом, в расплавленном и повторно отвержденном слое существует область, в которой кристаллические зерна не являются в достаточной степени мелкими, в соответствии с флуктуацией компонента Fe, и частичные поверхностные дефекты часто образуются после горячей прокатки. Следовательно, очень эффективно добавлять  $\beta$ -стабилизирующий элемент при плавлении и повторном отверждении для того, чтобы повысить количество добавленного  $\beta$ -стабилизирующего элемента; таким образом, частичные поверхностные дефекты также могут быть подавлены.

[0024]

В поперечном сечении в направлении, перпендикулярном к направлению сканирования расплавленного валика, расплавленный и повторно отвержденный слой имеет тенденцию быть самым глубоким в центре расплавленного валика при переплавке поверхностного слоя отливки из титана, и когда расплавленные валики перекрываются, он является самым мелким в той части, которая находится посередине между смежными расплавленными валиками, причем самая глубокая часть и самая мелкая часть периодически чередуются. Здесь, если разница между самой глубокой частью и самой мелкой частью является большой, эта разница порождает различие в устойчивости к деформации при горячей прокатке, что может вызвать образование дефектов. Следовательно, желательно, чтобы вышеупомянутая разница составляла меньше чем 2 мм. Следует отметить, что в настоящем изобретении указанная глубина расплавленного и повторно отвержденного слоя составляет 1 мм или



больше; эта глубина относится к глубине самой мелкой части, если смотреть на поперечное сечение в направлении, перпендикулярном к направлению сканирования расплавленного валика.

[0025]

Далее будет дано описание способа измерения глубины расплавленного и повторно отвержденного слоя и неоднородности расплавленного и повторно отвержденного слоя. Часть, вырезанная из части поверхностного слоя отливки из титана в поперечном сечении в направлении, перпендикулярном к направлению сканирования расплавленного валика, используется в качестве залитого и отполированного образца для сканирующей электронной микроскопии (SEM) /электронно-зондового микроанализа (EPMA); таким образом можно легко отличить расплавленный и повторно отвержденный слой. В настоящем изобретении, поскольку глубина расплавленного и повторно отвержденного слоя определяется как глубина самой мелкой части, глубина плавления может быть просто получена с помощью анализа распределения элементов. Фиг. 1 показывает один пример измеренных значений изменений в концентрации основного материала и расплавленного и повторно отвержденного слоя. Они получаются путем линейного анализа концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в направлении толщины от части основного материала около поверхностного слоя на прокатываемой поверхности отливки из титана в направлении к прокатываемой поверхности. В основном материале концентрация  $\beta$ -стабилизирующего элемента является низкой и по существу однородной, тогда как в расплавленном и повторно отвержденном слое концентрация  $\beta$ -стабилизирующего элемента является высокой, а также показывает флуктуацию концентрации, которая указывает на неоднородность.

[0026]

Примеры  $\beta$ -стабилизирующего элемента включают в себя V, Mo, Fe, Cr, Mn, Ta, Nb, Ni, Co, Cu и W. Однако в титане такой элемент, как W или Ta, имеющий высокую температуру плавления, вызывает образование включений с высокой плотностью (HDI), и служит исходной точкой усталости, когда он остается в титановом

материале в нерасплавленном состоянии или в недостаточно продифундированном состоянии; следовательно, такой элемент должен использоваться с осторожностью. Кроме того, Mo, Nb, и т.п. имеют более низкую температуру плавления, чем W и Ta, но все еще имеют температуру плавления, равную 2000°C или выше; поэтому при использовании Mo или Nb желательно заранее сплавлять их с таким элементом, как Ti, чтобы понизить точку плавления и добавлять уже полученный сплав.  $\beta$ -стабилизирующие элементы могут быть классифицированы на элементы типа полного твердого раствора, такие как V, Mo, Ta и Nb, и на элементы эвтектоидного типа, такие как Fe, Cr, Mn, Co, Ni и Cu.  $\beta$ -стабилизирующие элементы эвтектоидного типа имеют низкую растворимость в твердом состоянии, но имеют высокую способность к стабилизации  $\beta$ -фазы; поэтому добавление  $\beta$ -стабилизирующего элемента эвтектоидного типа эффективно даже при его небольшом количестве. Что касается Fe, Cr, Mn, Co, Ni и Cu, которые имеют эвтектоидный тип, поверхностные дефекты после горячей прокатки могут быть подавлены, когда концентрация  $\beta$ -стабилизирующего элемента в расплавленном и повторно отвержденном слое является более высокой, чем в основном материале, на величину приблизительно от 0,08 мас.% до 0,60 мас.%; следовательно, этот диапазон является предпочтительным. Что касается V, Mo, Ta, и Nb, которые имеют тип полного твердого раствора и низкую способность к стабилизации  $\beta$ -фазы по сравнению с эвтектоидным типом, эффект более легко проявляется при добавлении  $\beta$ -стабилизирующего элемента в большом количестве, так, чтобы концентрация  $\beta$ -стабилизирующего элемента в расплавленном и повторно отвержденном слое была более высокой, чем в основном материале, на величину приблизительно от 0,60 мас.% до 1,50 мас.%. Даже когда используется  $\beta$ -стабилизирующий элемент эвтектоидного типа, поскольку закалка выполняется при отверждении после повторного плавления, скорость охлаждения является высокой, и не образуется никаких выделений, а также при нагревании для горячей прокатки никаких выделений не образуется, потому что состояние

соответствует области  $\alpha+\beta$ . Кроме того, материал, содержащий  $\beta$ -стабилизирующий элемент, может содержать  $\alpha$ -стабилизирующий элемент, например Al, или нейтральный элемент, такой как Sn или Zr. Могут содержаться один или оба из  $\alpha$ -стабилизирующего элемента и нейтрального элемента. Общее количество  $\alpha$ -стабилизирующего элемента и нейтрального элемента в расплавленном и повторно отвержденном слое предпочтительно составляет 2,0 мас.% или меньше по массе основного материала. Fe, Ni и Cr, которые являются относительно недорогими  $\beta$ -стабилизирующими элементами, предпочтительно используются в качестве материала, который будет плавиться вместе с поверхностным слоем отливки из титана в состоянии сразу после отливки. Также эффективно использовать порошок из Fe и подобное или порошок из нержавеющей стали и подобное, или использовать измельченный лом обычной стали или нержавеющей стали. Аналогичным образом может использоваться измельченный лом сплава титана.

[0027]

Материал, используемый для добавления  $\beta$ -стабилизирующего элемента к поверхностному слою отливки, может иметь любую форму из порошка, стружки, проволоки и фольги, и желательно, чтобы материал был мелким. Эффективно использовать любой из следующих материалов: порошок с размером частиц в диапазоне от 1 мкм до 0,5 мм, стружку с размером в диапазоне от 2 мм<sup>2</sup> до 5 мм<sup>2</sup>, проволоку с диаметром в диапазоне от 0,5 мм до 5 мм, и фольгу с толщиной в диапазоне от 1 мкм до 0,1 мм. Такой материал располагается равномерно на поверхности отливки при его помещении или нанесении на поверхность отливки; таким образом, область с той же самой концентрацией, что и концентрация в основном материале, может быть уменьшена в поверхностном слое отливки из титана, что придает отливке из титана более превосходные поверхностные свойства.

[0028]

Способы для плавления поверхностного слоя вместе с  $\beta$ -стабилизирующим элементом включают в себя электроннолучевой

нагрев, дуговой нагрев, лазерный нагрев и индукционный нагрев. Титан представляет собой активный металл, и когда поверхностный слой плавится в атмосферном воздухе, расплавленная часть в значительной степени окисляется. Следовательно, подходящими являются следующие способы: электроннолучевой нагрев, дуговой нагрев (в частности способ нагрева, использующий инертный газ, такой как плазменно-дуговой нагрев или сварка вольфрамом в атмосфере инертного газа (TIG)), лазерный нагрев и т.п., которые могут выполнять обработку в вакуумной среде или в атмосфере инертного газа. Вышеупомянутая обработка может быть выполнена любым из этих способов. Из них электроннолучевой нагрев или плазменно-дуговой нагрев, которые могут прикладывать высокую энергию за один раз, являются подходящими для промышленности и предпочтительными для использования.

[ПРИМЕРЫ]

[0029]

Далее настоящее изобретение будет описано более подробно в Примерах.

[0030]

[Таблица 1]

№	Сорт	Разность концентрации β-стабилизирующего элемента (мас.%) между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем (поверхностным слоем толщиной 1 мм)					Способ плавнения	Глубина расплавленного слоя (мм)	Прокатка сляба	Поверхностные дефекты	Оценка	Примечания
		Форма добавки	Fe	Cr	Ni	Fe+Cr+Ni						
1	Чистый титан класса 1 JIS	нет	0,00	-	-	0,00	нет	0	Да	Незначительные	Хорошо	Справочный пример
2	Чистый титан класса 1 JIS	нет	0,00	-	-	0,00	нет	0	Нет	Грубые	Плохо	Сравнительный пример
3	Чистый титан класса 1 JIS	нет	0,00			0,00	Электронный луч	2	Нет	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
4	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок Fe	0,07	-	-	0,07	Электронный луч	2	Нет	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
5	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок Fe	0,22	-	-	0,22	Электронный луч	0,5	Нет	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
6	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок Fe	0,08	-	-	0,08	Электронный луч	3	Нет	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Пример
7	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок Fe	0,87	-	-	0,87	Электронный луч	1	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
8	Чистый титан класса 2 JIS	Порошок Fe	1,50	-	-	1,50	Электронный луч	5	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
9	Чистый титан класса 2 JIS	Порошок Fe	0,49	-	-	0,49	Электронный луч	7	Нет	Незначительные	Удовлетворительно	Пример
10	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок Fe	1,65	-	-	1,65	Электронный луч	4	Нет	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
11	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка Fe	0,13	-	-	0,13	Электронный луч	3	Нет	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Пример
12	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка Fe	1,30	-	-	1,30	Электронный луч	3	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
13	Чистый титан класса 1 JIS	Проволока из Fe	0,11	-	-	0,11	Электронный луч	3	Нет	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Пример

14	Чистый титан класса 1 JIS	Проволока из Fe	1,39	-	-	1,39	Электронный луч	3	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
15	Чистый титан класса 1 JIS	Фольга из Fe	0,20	-	-	0,20	Электронный луч	3	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
16	Чистый титан класса 1 JIS	Фольга из Fe	1,36	-	-	1,36	Электронный луч	3	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
17	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок Fe	0,14	-	-	0,14	Плазменная дуга	4	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
18	Чистый титан класса 2 JIS	Порошок Fe	1,35	-	-	1,35	Плазменная дуга	4	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
19	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок SUS304	0,05	0,01	0,01	<u>0,07</u>	Электронный луч	2	Нет	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
20	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок SUS304	0,06	0,02	0,01	0,09	Электронный луч	2	Нет	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Пример
21	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок SUS304	0,14	0,04	0,02	0,20	Электронный луч	2	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
22	Чистый титан класса 2 JIS	Порошок SUS304	0,98	0,24	0,11	1,33	Электронный луч	2	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
23	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок SUS430	0,06	0,01	-	<u>0,07</u>	Электронный луч	2	Нет	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
24	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок SUS430	0,08	0,01	-	0,09	Электронный луч	2	Нет	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Пример
25	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок SUS430	0,65	0,12	-	0,77	Электронный луч	2	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
26	Чистый титан класса 2 JIS	Порошок SUS430	1,16	0,22	-	1,38	электронный луч	2	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
27	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Cr	0,00	0,12	-	0,12	Электронный луч	3	Нет	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Пример
28	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Cr	0,00	0,25	-	0,25	Электронный луч	3	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример
29	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка из Cr	0,00	1,70	-	<u>1,70</u>	Электронный луч	3	Нет	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
30	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Ni	0,00	-	0,05	<u>0,05</u>	Электронный луч	3	Нет	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
31	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Ni	0,00	-	0,16	0,16	Электронный луч	3	Нет	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Пример
32	Чистый титан	Стружка из	0,00	-	1,20	1,20	Электрон-	3	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример

	класса 2 JIS	Ni											ный луч									
33	Чистый титан класса 1 JIS	нет	0,00	-	-	0,00							нет	0	Да	Незначительные	Хорошо	Справочный пример				
34	Чистый титан класса 1 JIS	Порошок Fe	0,06	-	-	0,06							Электронный луч	3	Нет	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример				
35	Чистый титан класса 2 JIS	Порошок Fe	1,30	-	-	1,30							Электронный луч	3	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример				
36	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Cr	0,00	0,35	-	0,35							Электронный луч	3	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример				
37	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Ni	0,00	-	1,47	1,47							Электронный луч	3	Нет	Незначительные	Хорошо	Пример				

[Таблица 2]

№	Сорт	Разность концентрации β-стабилизирующего элемента (мас.%) между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем (поверхностным слоем толщиной 1 мм)											Поверхностные дефекты	Оценка	Примечания	
		Форма добавки	Fe	Mo	V	Ta	Mn	Nb	Co	Cu	Cr	Сумма				
38	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Ti-Mo	0,00	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
39	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Ti-Mo	0,00	0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	0,13	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Пример
40	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка из Ti-Mo	0,00	0,32	-	-	-	-	-	-	-	-	0,32	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Сравнительный пример
41	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка из Ti-Mo	0,00	0,60	-	-	-	-	-	-	-	-	0,60	Незначительные	Хорошо	Сравнительный пример
42	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Ti-Mo	0,00	1,57	-	-	-	-	-	-	-	-	1,57	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
43	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из V	0,00	-	0,07	-	-	-	-	-	-	-	0,07	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
44	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из V	0,00	-	0,24	-	-	-	-	-	-	-	0,24	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Пример
45	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка из V	0,00	-	0,67	-	-	-	-	-	-	-	0,67	Незначительные	Хорошо	Пример
46	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Mn	0,00	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	0,05	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
47	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Mn	0,00	-	-	-	0,22	-	-	-	-	-	0,22	Незначительные	Хорошо	Пример

48	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка из Mn	0,00	-	-	-	1,34	-	-	-	-	1,34	Незначительные	Хорошо	Пример
49	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Fe-Nb	0,10	-	-	-	-	0,18	-	-	-	0,28	Незначительные	Хорошо	Пример
50	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Fe-Nb	0,25	-	-	-	-	0,49	-	-	-	0,74	Незначительные	Хорошо	Пример
51	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка из Fe-Nb	0,54	-	-	-	-	1,00	-	-	-	<u>1,54</u>	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
52	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Co	0,00	-	-	-	-	-	0,07	-	-	<u>0,07</u>	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
53	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Co	0,00	-	-	-	-	-	0,23	-	-	0,23	Незначительные	Хорошо	Пример
54	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка из Co	0,00	-	-	-	-	-	0,11	-	-	0,11	Незначительные	Хорошо	Пример
55	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Cu	0,00	-	-	-	-	-	-	0,07	-	<u>0,07</u>	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
56	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка из Cu	0,00	-	-	-	-	-	-	0,16	-	0,16	Незначительные	Хорошо	Сравнительный пример
57	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка из Cu	0,00	-	-	-	-	-	-	1,28	-	1,28	Незначительные	Хорошо	Сравнительный пример
58	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка 6-4V	0,00	-	0,06	-	-	-	-	-	-	<u>0,06</u>	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
59	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка 6-4V	0,00	-	0,12	-	-	-	-	-	-	0,12	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Пример
60	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка 6-4V	0,00	-	0,64	-	-	-	-	-	-	0,64	Незначительные	Хорошо	Сравнительный пример
61	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка 15-3-3-3	0,00	-	0,05	-	-	-	-	-	0,01	<u>0,06</u>	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
62	Чистый титан класса 1 JIS	Стружка 15-3-3-3	0,00	-	0,12	-	-	-	-	-	0,02	0,14	частично несколько грубые дефекты	Удовлетворительно	Пример
63	Чистый титан класса 2 JIS	Стружка 15-3-3-3	0,00	-	0,56	-	-	-	-	-	0,12	0,68	Незначительные	Хорошо	Пример
64	Чистый титан класса 3 JIS	Стружка Fe	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>0,05</u>	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
65	Чистый титан класса 3 JIS	Стружка Fe	0,86	-	-	-	-	-	-	-	-	0,86	Незначительные	Хорошо	Пример
66	Чистый титан класса 3 JIS	Стружка Fe	1,25	-	-	-	-	-	-	-	-	1,25	Незначительные	Хорошо	Пример



67	Чистый титан класса 4 JIS	Стружка Fe	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-	0,06	частично грубые дефекты	Плохо	Сравнительный пример
63	Чистый титан класса 4 JIS	Стружка Fe	0,96	-	-	-	-	-	-	-	-	0,96	Незначительные	Хорошо	Сравнительный пример

[0031]

В каждом из Справочных примеров, Примеров и Сравнительных примеров, показанных в Таблицах 1 и 2, отливка из титана производилась с использованием прямоугольной литейной формы с помощью электроннолучевой переплавки. Следует отметить, что в описанных ниже Примерах и Сравнительных примерах, если явным образом не указано иное, описание дается для случая, в котором горячекатаный лист производится из титанового сляба в состоянии сразу после литья, произведенного с использованием прямоугольной литейной формы. Горячекатаный лист с толщиной 4 мм был произведен с помощью горячей прокатки из отливки из титана с размерами толщина 200 мм × ширина 1000 мм × длина 4500 мм. В качестве титана использовался коммерчески чистый титан класса 1 JIS, класса 2 JIS, класса 3 JIS и класса 4 JIS. В качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовались порошок (с размером частиц 100 мкм или меньше), стружка (размером 2 мм<sup>2</sup> и толщиной 1 мм), проволока (диаметром 1 мм) и фольга (толщиной 20 мкм). Материал, содержащий  $\beta$ -стабилизирующий элемент, помещался или наносился на поверхность отливки из титана (сляба) в состоянии сразу после литья. Поверхностный слой сляба нагревался сверху, и прокатываемая поверхность полностью обрабатывалась путем сканирования нагреваемой части электронными лучами и плазменной дугой; таким образом в материале, содержащем  $\beta$ -стабилизирующий элемент, и в прокатываемой поверхности не оставалось никаких нерасплавленных частей. В дополнение к этому, отливка из титана с относительно превосходной поверхностью литья в состоянии сразу после отливки использовалась для того, чтобы предотвратить образование нерасплавленной части из-за поверхности отливки при плавлении поверхностного слоя. Кроме того, материал, содержащий  $\beta$ -стабилизирующий элемент, диспергировался равномерно на всей прокатываемой поверхности отливки из титана так, чтобы  $\beta$ -стабилизирующий элемент добавлялся равномерно ко всему слябу. В качестве способа для измерения глубины расплавленного и повторно отвержденного слоя из отливки из титана, полученной путем плавления и повторного отверждения

поверхностного слоя, был вырезан образец и подвергнут полировке и травлению, после чего этот образец наблюдался в оптический микроскоп; таким образом была измерена глубина слоя, имеющего тонкую иглообразную микроструктуру (тонкая иглообразная микроструктура, получаемая путем добавления  $\beta$ -стабилизирующего элемента, является различной), причем глубина самой мелкой части среди наблюдаемых областей принималась в качестве глубины расплавленного и повторно отвержденного слоя. Кроме того, аналитические образцы брались в пределах поверхностного слоя толщиной 1 мм в любых десяти точках прокатываемой поверхности отливки из титана и подвергались атомной эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой, и получалось среднее значение для этих десяти точек. В дополнение к этому, для сравнения, аналитические образцы брались в пределах 20 мм поверхностного слоя в любых трех точках прокатываемой поверхности отливки из титана перед переплавкой поверхностного слоя отливки из титана, и точно так же подвергались атомной эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой, и получалось среднее значение для этих трех точек. Для этих двух видов аналитических результатов была изучена разница между средним значением концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в диапазоне внутри 1 мм в глубину расплавленного и повторно отвержденного слоя и средним значением концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в основном материале. Ситуация образования поверхностных дефектов оценивалась путем визуального наблюдения поверхности титанового материала (горячекатаного листа) после того, как горячекатаный лист подвергался обработке металлической дробью и травлению после горячей прокатки. Травление выполнялось приблизительно на 50 мкм с одной стороны прокатываемой поверхности (приблизительно на 100 мкм для обеих сторон) за один раз. После того, как лист был подвергнут травлению несколько раз, оценивались поверхностные свойства горячекатаного листа. Следует отметить, что аналитический образец брался в пределах поверхностного слоя толщиной 1 мм для сравнительного примера, не подвергавшегося плавлению

поверхностного слоя, и аналитический образец брался в пределах расплавленного и повторно отвержденного слоя для Сравнительного примера с толщиной расплавленного и повторно отвержденного слоя меньше чем 1 мм.

[0032]

Сначала будет дано описание результатов для отливок из титана, поверхностные слои которых плавилась вместе с материалами, содержащими Fe, Ni и Cr, которые являются недорогими  $\beta$ -стабилизирующими элементами.

[0033]

В Справочном примере и Сравнительном примере №№ 1 и 2 горячая прокатка выполнялась без выполнения плавления поверхностного слоя. Поскольку плавление поверхностного слоя не проводилось, концентрация  $\beta$ -стабилизирующего элемента внутри поверхностного слоя толщиной 1 мм была равна концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в основном материале, и разница между ними была меньше чем 0,08 мас.%. В Справочном примере № 1 прокатка сляба выполнялась как с обычной отливкой из титана. Прокатка сляба выполнялась от толщины 200 мм до 100 мм, а затем нагревание было выполнено снова, и горячая прокатка была выполнена до толщины 4 мм. Из-за прокатки сляба не было никаких проблем в поверхностных свойствах после горячей прокатки. В Сравнительном примере № 2 прокатка сляба не выполнялась. Поскольку прокатка сляба не выполнялась, грубые поверхностные дефекты образовались в горячекатаном листе после травления.

В Сравнительном примере № 3 поверхностный слой на прокатываемой поверхности плавился с помощью электроннолучевого нагрева, и  $\beta$ -стабилизирующий элемент при плавлении не использовался. Хотя был получен расплавленный и повторно отвержденный слой толщиной 2 мм или больше, основной материал и расплавленный и повторно отвержденный слой имели равные концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента, потому что  $\beta$ -стабилизирующий элемент не добавлялся, и разница в концентрации между ними была меньше чем 0,08 мас.%. На поверхности

горячекатаного листа после горячей прокатки и травления частично образовались грубые дефекты.

[0034]

В Сравнительных примерах № 4 и 5 поверхностный слой на прокатываемой поверхности плавился с помощью электроннолучевого нагрева с использованием порошка из Fe в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент. В Сравнительном примере № 4 расплавленный и повторно отвержденный слой имел более высокую концентрацию  $\beta$ -стабилизирующего элемента, чем основной материал, разница между ними составляла меньше чем 0,08 мас.%, и расплавленный и повторно отвержденный слой имел глубину 2 мм. Поскольку концентрация Fe была меньше 0,08 мас.%, грубые дефекты частично образовались на поверхности горячекатаного листа после травления. В Сравнительном примере № 5 расплавленный и повторно отвержденный слой имел концентрацию  $\beta$ -стабилизирующего элемента выше, чем основной материал, на 0,22 мас.%, и расплавленный и повторно отвержденный слой имел глубину 0,5 мм в самой мелкой части. Поскольку глубина расплавленного и повторно отвержденного слоя составляла меньше чем 1 мм, грубые дефекты частично образовались на поверхности горячекатаного листа после травления. Сравнительные примеры №№ 4 и 5 показали улучшенные поверхностные свойства горячекатаного листа по сравнению со Сравнительным примером № 2, но имели несколько большие поверхностные дефекты, и качество было недостаточным.

[0035]

Примеры №№ 6-9 и 11-16, а также Сравнительный пример № 10 использовали электроннолучевой нагрев в качестве способа плавления поверхностного слоя сляба, и подвергались тесту горячей прокатки с изменением количества и форм материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент.

[0036]

В Примерах №№ 6-9 и Сравнительном примере № 10 в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовался порошок.

[0037]

В Примере № 6 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем составляла 0,08 мас.%, и расплавленный и повторно отвержденный слой имел глубину 3 мм. Несколько грубые дефекты поверхности частично образовались на горячекатаном листе после травления, но они находились на допустимом уровне, и очень хорошие поверхностные свойства были показаны по сравнению с Примерами №№ 4 и 5.

[0038]

В Примере № 7 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем составляла 0,87 мас.%, и расплавленный и повторно отвержденный слой имел глубину 1 мм. В Примере № 8 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем составляла 1,50 мас.%, и расплавленный и повторно отвержденный слой имел глубину 5 мм. В Примерах №№ 7 и 8 поверхностные дефекты после травления были незначительными, и были получены превосходные поверхностные свойства.

[0039]

В Примере № 9 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем составляла 0,49 мас.%, и расплавленный и повторно отвержденный слой имел глубину 7 мм. Хотя горячекатаный лист после травления показал превосходные поверхностные свойства, глубина расплавленного и повторно отвержденного слоя составляла 7 мм, что увеличило количество раз травления по сравнению с нормальным случаем для удаления обогащенного железом слоя; таким образом, выход был уменьшен по сравнению с Примером № 8.

[0040]

В сравнительном примере № 10 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем составляла 1,67 мас.%, и расплавленный и повторно отвержденный слой имел глубину

4 мм. Грубые дефекты частично образовались на поверхности горячекатаного листа после травления, а также образовались поверхностные трещины, и качество было недостаточным.

[0041]

В Примерах №№ 11-16 поверхностный слой нагревался так, чтобы расплавленный и повторно отвержденный слой в поверхностном слое сляба имел глубину 3 мм. Примеры №№ 11 и 12 использовали стружку в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент. Примеры №№ 13 и 14 использовали проволоку в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент. Примеры №№ 15 и 16 использовали фольгу в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент. В Примерах №№ 11-16 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем составляла 0,08 мас.% или больше, и поверхностные дефекты горячекатаного листа имели допустимый уровень и были незначительными.

[0042]

В соответствии с вышеописанными результатами превосходные поверхностные свойства горячекатаного листа были получены при использовании в качестве формы материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, любой формы из порошка, стружки, проволоки и фольги.

[0043]

Примеры №№ 17 и 18 использовали порошок в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, и подвергались тесту горячей прокатки с изменением способа плавления поверхностного слоя сляба. В Примерах №№ 17 и 18 плазменно-дуговой нагрев использовался в качестве способа плавления поверхностного слоя сляба, и расплавленный и повторно отвержденный слой имел глубину 4 мм. В Примерах №№ 17 и 18 поверхностные дефекты горячекатаного листа после травления были незначительными, и результаты были превосходными.

[0044]

В соответствии с вышеописанными результатами превосходные поверхностные свойства горячекатаного листа были получены при использовании в качестве способа плавления поверхностного слоя сляба любого из электроннолучевого нагрева и плазменно-дугового нагрева.

[0045]

Далее будет дано описание результатов для тех случаев, когда использовалась нержавеющая сталь, содержащая Cr и Ni в дополнение к Fe.

[0046]

В Сравнительном примере и Примерах №№ 19-22 порошок из стали SUS304 использовался в качестве нержавеющей стали, и поверхностный слой плавился с помощью электроннолучевого нагрева так, чтобы обеспечить расплавленный и повторно отвержденный слой глубиной 2 мм. В Сравнительном примере № 19 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые поверхностные дефекты образовались в горячекатаном листе. В Примерах №№ 20-22 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем составляла 0,08 мас.% или больше, и поверхностные дефекты горячекатаного листа имели допустимый уровень и были незначительными.

[0047]

В Сравнительном примере и Примерах №№ 23-26 порошок из стали SUS430 использовался в качестве нержавеющей стали, и поверхностный слой плавился с помощью электроннолучевого нагрева так, чтобы обеспечить расплавленный и повторно отвержденный слой глубиной 2 мм. В Сравнительном примере № 23 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые поверхностные дефекты образовались в горячекатаном листе. В Примерах №№ 24-26 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным



материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем составляла 0,08 мас.% или больше, и поверхностные дефекты горячекатаного листа имели допустимый уровень и были незначительными.

[0048]

Далее, в Сравнительных примерах и Примерах №№ 27-32 Cr или Ni добавлялся отдельно. В Сравнительном примере и Примерах №№ 27-29 использовалась хромовая стружка, и поверхностный слой плавился с помощью электроннолучевого нагрева так, чтобы обеспечить расплавленный и повторно отвержденный слой глубиной 3 мм. В Примерах №№ 27 и 28 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем составляла 0,08 мас.% или больше и 1,5 мас.% или меньше, и поверхностные дефекты горячекатаного листа частично были несколько грубыми, но в основном результаты были отличными. В Сравнительном примере № 29 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была равна 1,50 мас.% или больше, и грубые дефекты частично образовались на поверхности горячекатаного листа после травления, также наблюдались и поверхностные трещины; и по сравнению с Примерами №№ 27 и 28 были показаны худшие поверхностные свойства.

[0049]

В Сравнительном примере и Примерах №№ 30-32 использовалась никелевая стружка, и поверхностный слой плавился с помощью электроннолучевого нагрева так, чтобы обеспечить расплавленный и повторно отвержденный слой глубиной 3 мм. В Сравнительном примере № 30 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые поверхностные дефекты частично образовались в горячекатаном листе. В Примерах №№ 31 и 32 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри

диапазона от 0,08 мас.%, до 1,50 мас.%, и в обоих случаях поверхностные дефекты горячекатаного листа имели допустимый уровень.

[0050]

В Примерах и Сравнительном примере №№ 33-37 катанка с диаметром 13 мм была произведена путем горячей прокатки из цилиндрического слитка металла с размерами диаметр 170 мм × длина 12 м, полученного с помощью электроннолучевой переплавки. Поверхностные дефекты оценивались путем визуального наблюдения поверхностного слоя катанки после травления, как и для горячекатаного листа.

[0051]

В Справочном примере № 33 горячая прокатка выполнялась без плавления поверхностного слоя. Поскольку плавление поверхностного слоя не проводилось, концентрация  $\beta$ -стабилизирующего элемента внутри поверхностного слоя толщиной 1 мм была равна концентрации Fe в основном материале. Прокатка сляба выполнялась как с обычной отливкой из титана. Из-за того, что прокатка сляба выполнялась, не было никаких проблем в поверхностных свойствах после горячей прокатки.

[0052]

В Сравнительном примере и Примере №№ 34 и 35 в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовался порошок из Fe. В Сравнительном примере № 34 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые дефекты образовались частично как поверхностные дефекты горячекатаного листа. В Примере № 35 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.%, до 1,50 мас.%, и были получены превосходные поверхностные свойства.

[0053]

В Примере № 36 в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовалась хромовая стружка. В

Примере № 36 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.% до 1,50 мас.%, и были получены превосходные поверхностные свойства.

[0054]

В Примере № 37 в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовалась никелевая стружка. Также в Примере № 37 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.% до 1,50 мас.%, и были получены превосходные поверхностные свойства, как и в Примерах №№ 35 и 36.

[0055]

В Сравнительных примерах и Примерах №№ 38-66 поверхностный слой титанового материала плавился с помощью электроннолучевого нагрева так, чтобы получить глубину плавления 4 мм. Описание приводится для случаев, в которых добавлялись различные  $\beta$ -стабилизирующие элементы.

[0056]

В Сравнительных примерах и Примере №№ 38-42 в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовалась стружка из сплава Ti-Mo. В Сравнительном примере № 38 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые дефекты образовались частично на поверхности горячекатаного листа. В Примерах №№ 39-41 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.% до 1,50 мас.%, и в каждом случае горячекатаный лист показал превосходное состояние поверхности по сравнению со Сравнительным примером № 38. В Сравнительном примере № 42 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем превышала 1,50 мас.%, и грубые дефекты образовались частично на поверхности

горячекатаного листа после травления. Поверхностные трещины также наблюдались; были показаны плохие поверхностные свойства.

[0057]

В Сравнительном примере и Примерах №№ 43-45 в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовалась стружка из V. В Сравнительном примере № 43 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и горячекатаный лист показал плохие поверхностные свойства, и частично образовались грубые дефекты. В Примерах №№ 44 и 45 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.% до 1,50 мас.%, и в обоих случаях поверхностные дефекты горячекатаного листа имели допустимый уровень.

[0058]

В Сравнительном примере и Примерах №№ 46-48 в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовалась стружка из Mn. В Сравнительном примере № 46 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые дефекты образовались частично на поверхности горячекатаного листа. В Примерах №№ 47 и 48 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.% до 1,50 мас.%, и поверхностное состояние находилось в допустимом диапазоне по сравнению со Сравнительным примером № 46.

[0059]

В Сравнительном примере и Примерах №№ 49-51 в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовалась стружка из сплава Fe-Nb. В Примерах №№ 49 и 50 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.% до 1,50 мас.%, и

поверхностное состояние было превосходно, а дефекты были незначительными. В Сравнительном примере № 51 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем превышала 1,50 мас.%, и грубые дефекты образовались частично на поверхности горячекатаного листа после травления.

[0060]

В Сравнительном примере и Примерах №№ 52-54 в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовалась стружка из Co. В Сравнительном примере № 52 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые дефекты образовались частично на поверхности горячекатаного листа. В Примерах №№ 53 и 54 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.% до 1,50 мас.%, и поверхностное состояние находилось было превосходным по сравнению со Сравнительным примером № 52.

[0061]

В Сравнительном примере и Примерах №№ 55-57 в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент, использовалась стружка из Cu. В Сравнительном примере № 55 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые дефекты образовались частично на поверхности горячекатаного листа после травления. В Примерах №№ 56 и 57 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.% до 1,50 мас.%, и были получены превосходные поверхностные свойства.

[0062]

В Сравнительном примере и Примерах №№ 58-60 стружка из сплава титана, полученная путем измельчения лома сплава Ti-6Al-4V (стружка 6-4V), который представляет собой сплав титана типа

$\alpha+\beta$ , добавлялась в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент.

[0063]

В Сравнительном примере № 58 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые дефекты образовались частично на поверхности горячекатаного листа после травления. В Примерах №№ 59 и 60, хотя добавлялся Al, который является  $\alpha$ -стабилизирующим элементом, разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.% до 1,50 мас.%, и поверхностные дефекты имели допустимый уровень.

[0064]

В Сравнительном примере и Примерах №№ 61-63 стружка из сплава титана, полученная путем измельчения лома сплава Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al (стружка 15-3-3-3), который представляет собой сплав титана типа  $\alpha+\beta$ , добавлялась в качестве материала, содержащего  $\beta$ -стабилизирующий элемент.

[0065]

В Сравнительном примере № 61 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые дефекты образовались частично на поверхности горячекатаного листа. В Примерах №№ 62 и 63 добавлялись Al, который является  $\alpha$ -стабилизирующим элементом, и Sn, который является нейтральным элементом, и разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.% до 1,50 мас.%. В качестве поверхностных дефекты горячекатаного листа они соответственно показали несколько грубые дефекты, наблюдаемые частично, а также незначительные дефекты; таким образом, эффект подавления поверхностных дефектов горячекатаного листа при этих условиях также был продемонстрирован.

В Сравнительных примерах и Примерах №№ 64–68 поверхностные слои отливок из чистого титана и сплава титана плавилась вместе со стружкой из Fe электронными лучами так, чтобы получить глубину плавления 3 мм.

В Примерах №№ 64–66 титановый сляб из чистого титана класса 3 JIS использовался в качестве титанового материала.

В Сравнительном примере № 64 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые дефекты образовались частично на поверхности горячекатаного листа. В Примерах №№ 65 и 66 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.% до 1,50 мас.%, и в обоих случаях поверхностные дефекты горячекатаного листа были незначительными.

В Примерах №№ 67 и 68 титановый сляб из чистого титана класса 4 JIS использовался в качестве титанового материала.

В Сравнительном примере № 67 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем была меньше чем 0,08 мас.%, и грубые поверхностные дефекты образовались частично в горячекатаном листе после травления. В Примере № 68 разница в концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента между основным материалом и расплавленным и повторно отвержденным слоем находилась внутри диапазона от 0,08 мас.% до 1,50 мас.%, и поверхность горячекатаного листа была превосходной.

**ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ**

1. Отливка из титана для горячей прокатки, выполненная из коммерчески чистого титана, содержащая:

расплавленный и повторно отвержденный слой в диапазоне 1 мм или более вглубь от поверхности, служащей в качестве прокатываемой поверхности, получаемый путем добавления одного или более  $\beta$ -стабилизирующих элементов к этой поверхности и плавления и повторного отверждения этой поверхности,

в которой среднее значение концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в диапазоне внутри 1 мм в глубину является более высоким, чем значение концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в основном материале, на величину 0,08 мас.% или больше и 1,50 мас.% или меньше.

2. Отливка из титана для горячей прокатки по п. 1, в которой  $\beta$ -стабилизирующий элемент (элементы) представляет собой один или более из Fe, Ni и Cr.

3. Отливка из титана для горячей прокатки по п. 1, содержащая один или более  $\alpha$ -стабилизирующих элементов или нейтральных элементов вместе с  $\beta$ -стабилизирующим элементом (элементами).

4. Способ для производства отливки из титана для горячей прокатки, содержащий:

плавление поверхности, служащей в качестве прокатываемой поверхности отливки из титана, вместе с материалом, содержащим  $\beta$ -стабилизирующий элемент, а затем отверждение этой поверхности, причем отливка из титана выполнена из коммерчески чистого титана.

5. Способ по п. 4, в котором материал, содержащий  $\beta$ -стабилизирующий элемент, имеет любую форму из порошка, стружки, проволоки и фольги.

6. Способ по п. 4, в котором поверхность, служащая в качестве прокатываемой поверхности отливки из титана, плавят с помощью электроннолучевого нагрева или плазменного нагрева, причем отливка из титана выполнена из коммерчески чистого титана.

По доверенности



**ИЗМЕНЕННАЯ ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ,  
ПРЕДЛОЖЕННАЯ ЗАЯВИТЕЛЕМ ДЛЯ РАССМОТРЕНИЯ (СТ.34 РСТ)**

1. Отливка из титана, выполненная из коммерчески чистого титана и содержащая:

слой, содержащий один или более  $\beta$ -стабилизирующих элементов в диапазоне 1 мм или более вглубь от поверхности, служащей в качестве прокатываемой поверхности,

причем среднее значение концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в диапазоне внутри 1 мм в глубину является более высоким, чем значение концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в основном материале, на величину 0,08 мас.% или больше и 1,50 мас.% или меньше.

2. Отливка из титана по п. 1,

в которой  $\beta$ -стабилизирующий элемент (элементы) представляет собой один или более из Fe, Ni и Cr.

3. Отливка из титана по п. 1, содержащая один или более  $\alpha$ -стабилизирующих элементов или нейтральных элементов вместе с  $\beta$ -стабилизирующим элементом (элементами).

4. Способ производства отливки из титана, содержащий:

плавление поверхности, служащей в качестве прокатываемой поверхности отливки из титана, вместе с материалом, содержащим  $\beta$ -стабилизирующий элемент, а затем отверждение этой поверхности для обеспечения среднего значения концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в диапазоне внутри 1 мм в глубину является более высоким, чем значение концентрации  $\beta$ -стабилизирующего элемента в основном материале, на величину 0,08 мас.% или больше и 1,50 мас.% или меньше, причем отливка из титана выполнена из коммерчески чистого титана.

5. Способ по п. 4,

в котором материал, содержащий  $\beta$ -стабилизирующий элемент, имеет любую форму из порошка, стружки, проволоки и фольги.

6. Способ по п. 4,

в котором поверхность, служащая в качестве прокатываемой поверхности отливки из титана, плавят с помощью

электроннолучевого нагрева или плазменного нагрева, причем отливка из титана выполнена из коммерчески чистого титана.

По доверенности

ФИГ. 1

